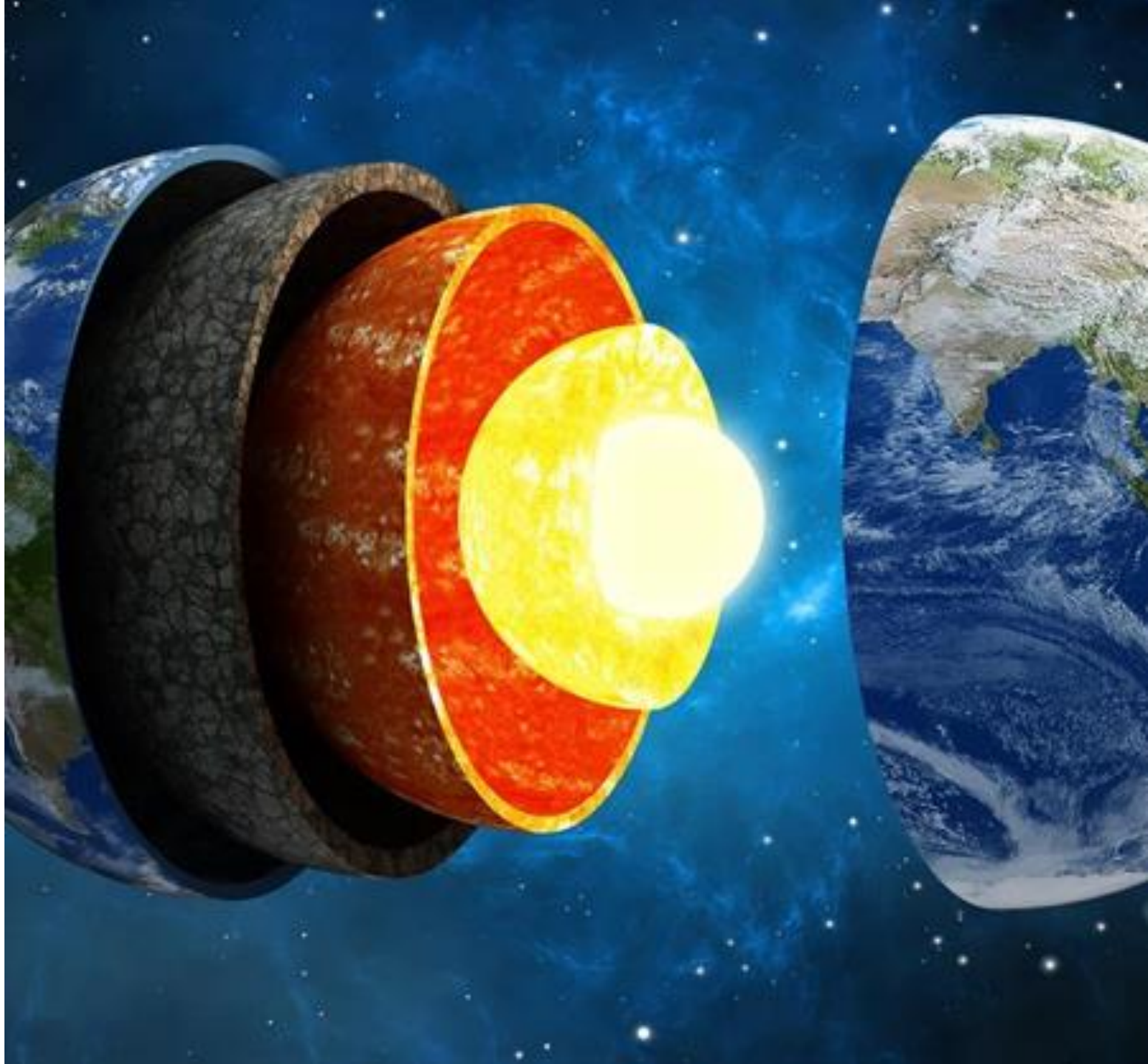
Introdução à geologia planetária

- David Glotz



- **Planeta Terra:**

- **Continentes...**
- **Polos Congelados...**
- **Estrutura Interna...**
- **Atmosfera...**
- **Presença de Vida**
- **Placas tectonicas ativas...**
- **Relevo modificado por meteoritos é renovado pelo processo de renovação da crosta.**

1- Camadas internas do Planeta Terra:

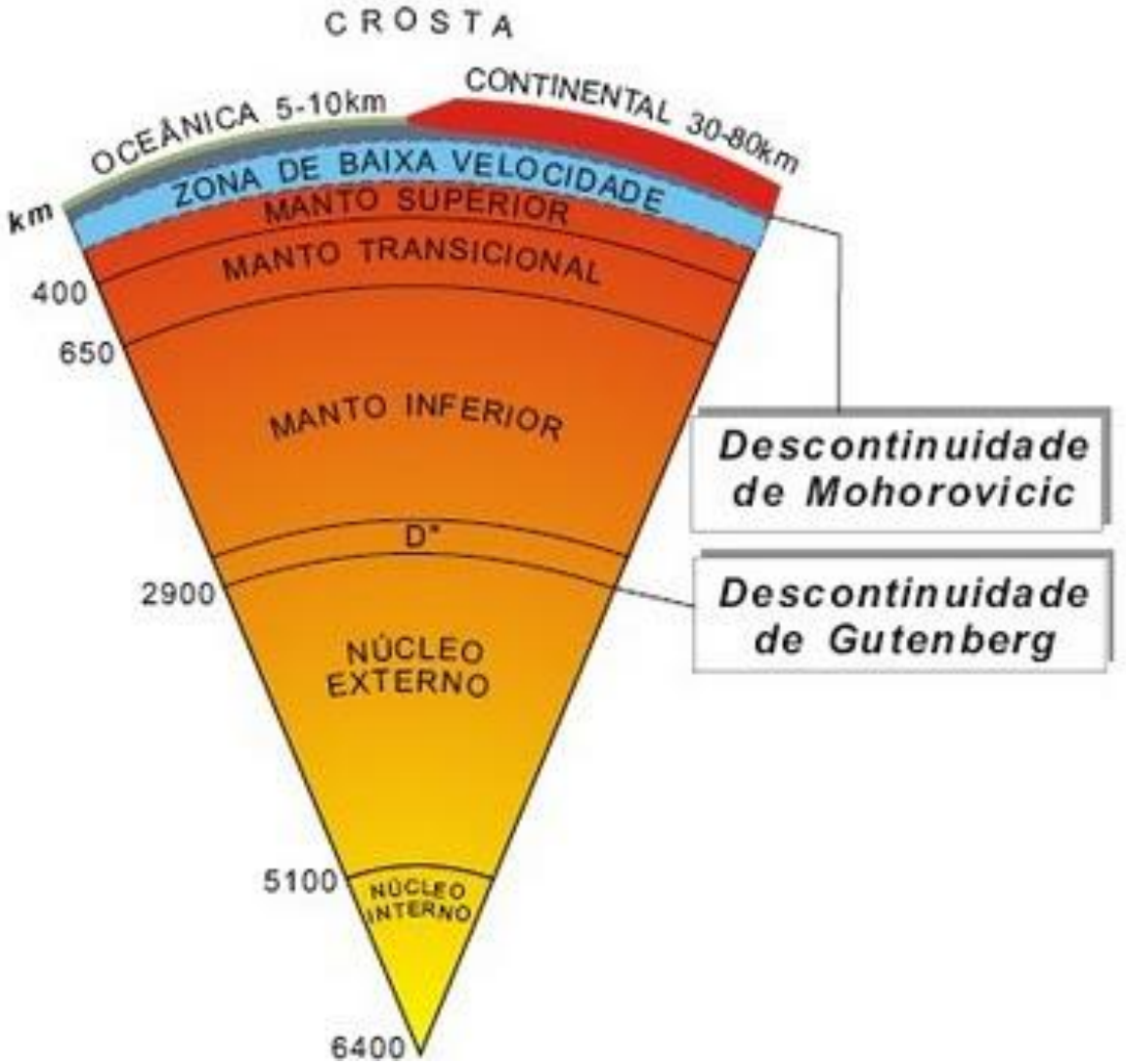
Crosta:

- **Descrição:** camada mais externa da Terra, relativamente fina.
- **Espessura:** 5–70 km (mais fina nos oceanos, mais espessa nos continentes).
- **Composição:** silicatos leves (granito na crosta continental, basalto na oceânica).
- **Propriedades:** sólida, rígida.
- **Observações importantes:** é onde vivemos e onde ocorrem os fenômenos superficiais, como terremotos superficiais e vulcões.

- Vale também esclarescer os termos Sial e Sima...:

•Sial = crosta continental rica em Si e Al.

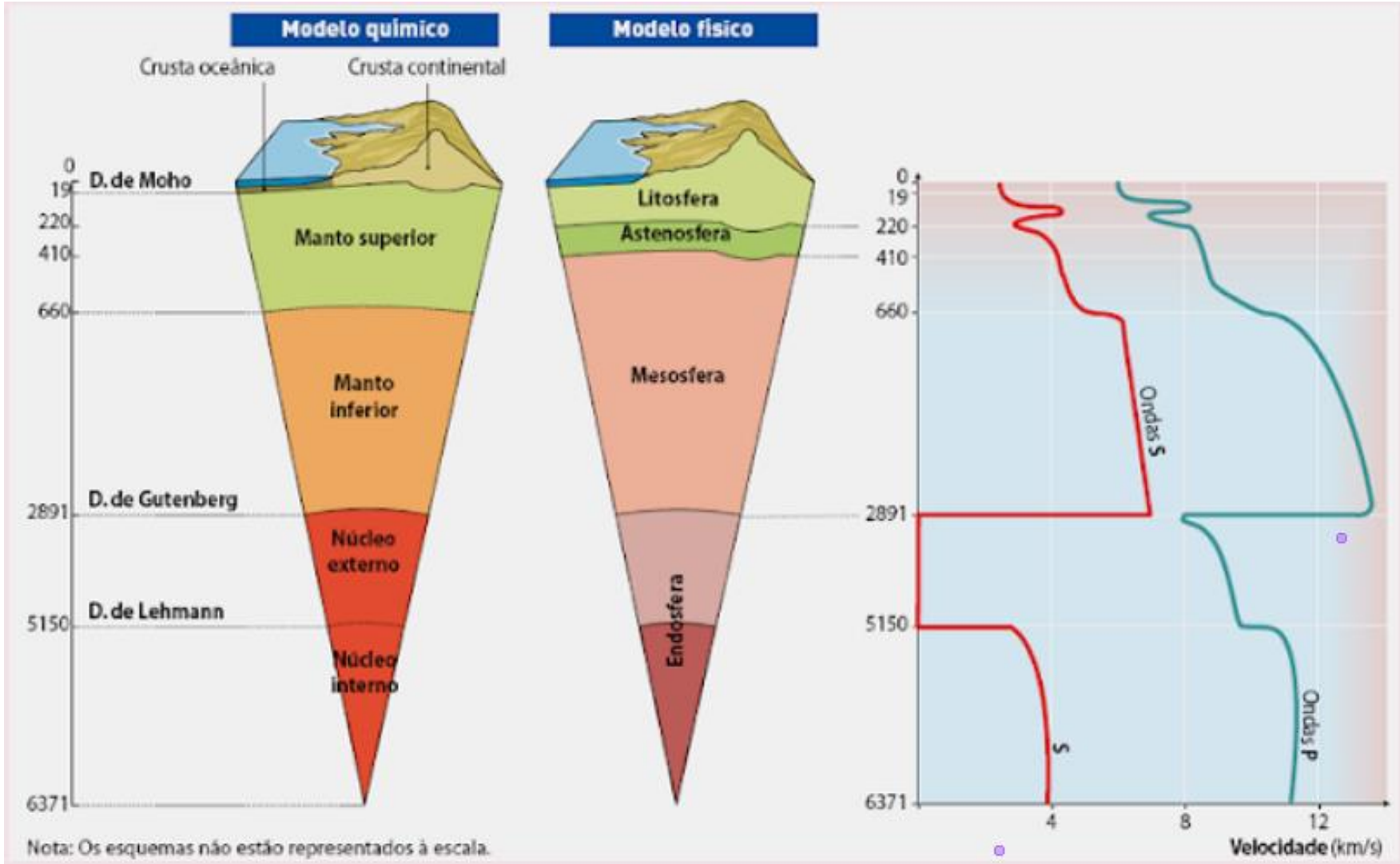
•Sima = crosta oceânica rica em Si e Mg.



- **Manto:**
- **Descrição:** camada intermediária, localizada entre a crosta e o núcleo.
- **Espessura:** ~2.900 km.
- **Composição:** silicatos mais densos ricos em **Mg** e **Fe** (**peridotita**).
- **Divisão física:**
  - **Manto superior:** inclui a **litosfera** (rigidez, junto com a crosta) e a **astenosfera** (semi-sólida, viscosa, permite movimento das placas tectônicas).
  - **Manto inferior:** mais rígido devido à alta pressão, mas ainda capaz de conduzir calor lentamente.
- **Propriedades:** comportamento plástico em longos períodos; responsável por **convecção mantélica**, que move as placas tectônicas.
- **Núcleo(Nife):**
- **Descrição:** camada mais interna, composta principalmente por **Fe** e **Ni**.
- **Espessura:** ~3.500 km.
- **Divisão:**
  - **Núcleo externo:** líquido; responsável pelo **campo magnético terrestre** através do **efeito dínamo**.
  - **Núcleo interno:** sólido; muito denso devido à pressão extrema.
- **Propriedades:** temperaturas extremas (até 5.700 °C), densidade muito alta.

- **Campo magnético**: Invisível... Gerado pelo núcleo externo líquido (nife) em movimento e em conjunto com a rotação da terra ocasionando no chamado **Efeito Dínamo**... Responsável por proteger o planeta terra de radiação cósmica e ventos solares... contribuiu para a manutenção da água na superfície... Habitabilidade... Mantém o Clima agradável... Através do paleomagnetismo as rochas conseguem registrar o campo magnético de tempos remotos...
- **Tectonica de Placas: Movimentação da litosfera sobrejacente a astesnosfera...Deslocamento das placas tectonicas...Convecção do Manto...**

A tectonica de placas é responsável pela formação de: Cadeias de montanhas...Vulcões...Terremotos...Oceanos e continentes... Promove também a Reciclagem da crosta ao longo do tempo geológico. [* **único planeta conhecido com tectônica de placas ativa**.]



Nota: Os esquemas não estão representados à escala.

- **Descontinuidade de Mohorovičić (Moho):**
- **Localização:** entre a **crosta** e o **manto superior**.
- **O que ocorre:** salto brusco na **densidade e composição química** (passagem do Sial/Sima para o manto, rochas ultramáficas).
- **Importância:** separa crosta do manto; detectada pelo aumento da velocidade das ondas sísmicas P e S.

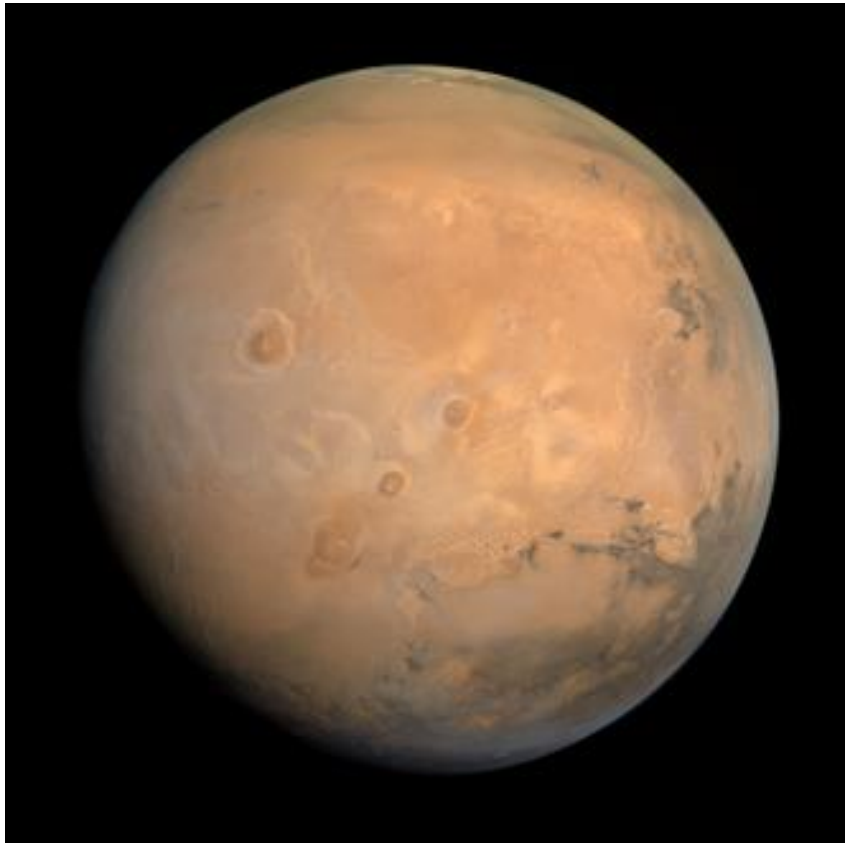
- **Descontinuidade de Gutenberg:**
- **Localização:** entre o **manto inferior** e o **núcleo externo**.
- **O que ocorre:** mudança de comportamento de **sólido para líquido**, pois o núcleo externo é líquido.
- **Importância:** explica porque as ondas S (transversais) não atravessam o núcleo externo.

- **Descontinuidade de Lehmann:**
- **Localização:** dentro do **núcleo**, entre núcleo externo (líquido) e núcleo interno (sólido).
- **O que ocorre:** mudança de estado físico de líquido para sólido.
- **Importância:** detectada pelo comportamento das ondas sísmicas refletidas no núcleo; confirma a existência de um núcleo interno sólido.

- **Descontinuidade de Conrad:** separa a **crosta superior da crosta inferior**, encontrada principalmente na crosta continental.

- **Descontinuidades menores no manto:** como a **410 km e 660 km**, relacionadas à mudança de fase de minerais do manto (ex.: olivina para wadsleyita e ringwoodita).

- **Marte:**



Estrutura Interna de Marte
Camadas internas:

- **Crosta:** mais espessa que a terrestre, rica em basaltos.
- **Manto:** rochoso, provavelmente pouco ativo hoje.
- **Núcleo:** composto principalmente por **Fe**, com **S** e **Ni**.

- O **núcleo de Marte é parcialmente líquido**, mas **não gera um campo magnético global ativo**.
- Menor tamanho → resfriamento mais rápido.

Apenas há **campos magnéticos remanescentes** preservados em rochas antigas da crosta.

- O vento solar removeu grande parte da atmosfera marciana.
- Perda progressiva de água líquida superficial.
- Clima frio e seco.

- Não há placas tectonicas em marte... **Litosfera rígida e espessa**, sem fragmentação em placas... Deformações locais, como fraturas e riftes...**Valles Marineris**: gigantesco sistema de fraturas, não uma zona de placas... Ausência de subducção e dorsais oceânicas... Vulcanismo dominado por **vulcões-escudo gigantes**... Lava basáltica muito fluida.
- **Monte Olympus:**
  - Maior vulcão do Sistema Solar.
  - ~22 km de altura.

- Impactos:
- Grande número de crateras → revela uma superfície antiga e pouca reciclagem crustal.
- Erosão
- Predominantemente:
  - **Eólica** (vento)
  - **Criogênica** (gelo)
- Evidências claras de **água líquida no passado**:
  - Canais, deltas, vales fluviais fossilizados.

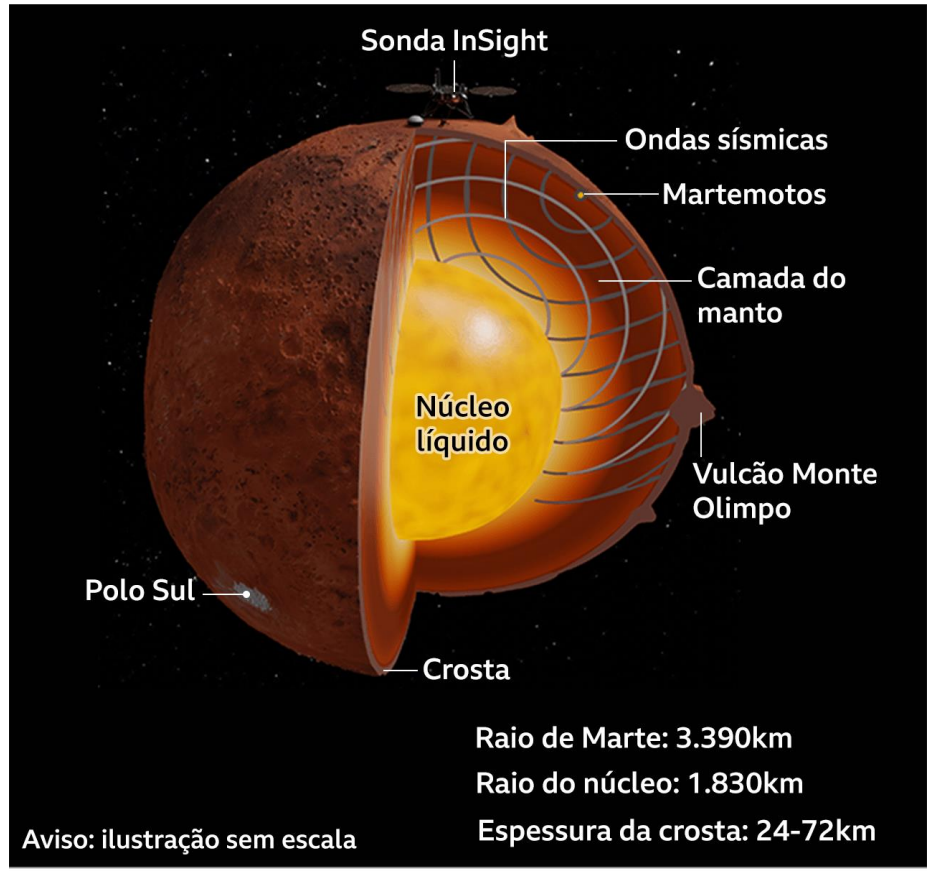
- **Atmosfera:**
- Muito fina (~1% da terrestre).
- Composta majoritariamente por CO_2.
- Água
- Atualmente:
  - Gelo nos polos e no subsolo.
- No passado:
  - Rios, lagos e possivelmente oceanos rasos. Ligação direta com:
- Perda do campo magnético
- Resfriamento interno

Marte então...:

- Perdeu o seu campo magnético...
- Não tem tectônica de placas...
- Esfria rapidamente...

- **Portanto, Marte representa um planeta que iniciou sua história de forma ativa, mas perdeu sua dinâmica interna e, dessa forma, sua capacidade de sustentar um ambiente habitável.**

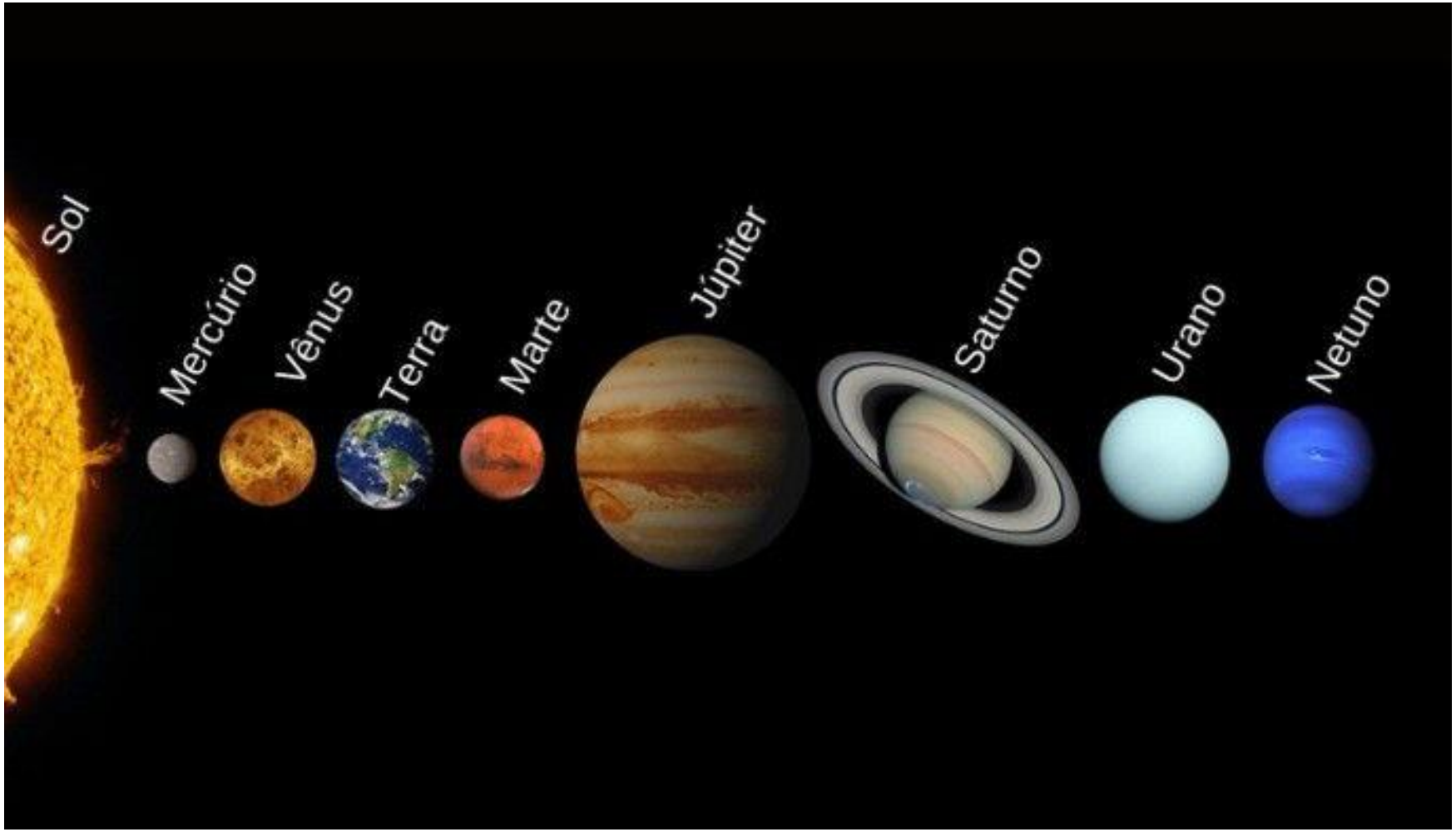
As camadas do interior de Marte



Fonte: S.Cottaar/P.Koelemeijer/J.Winterbourne/Nasa

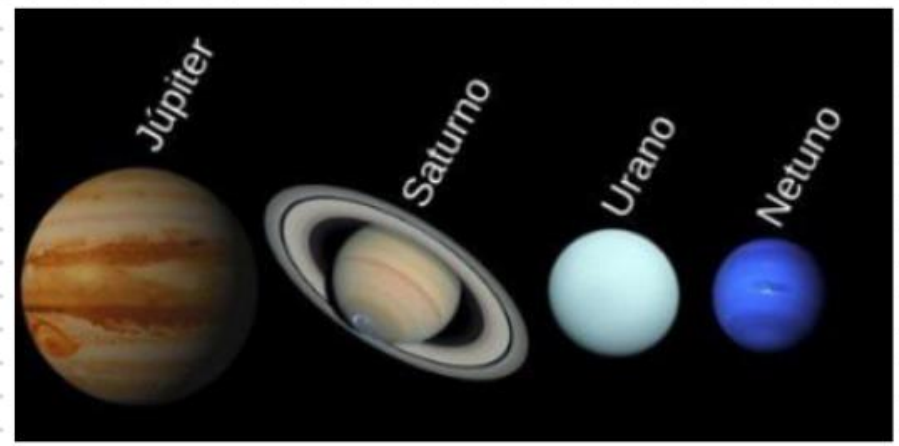
BBC

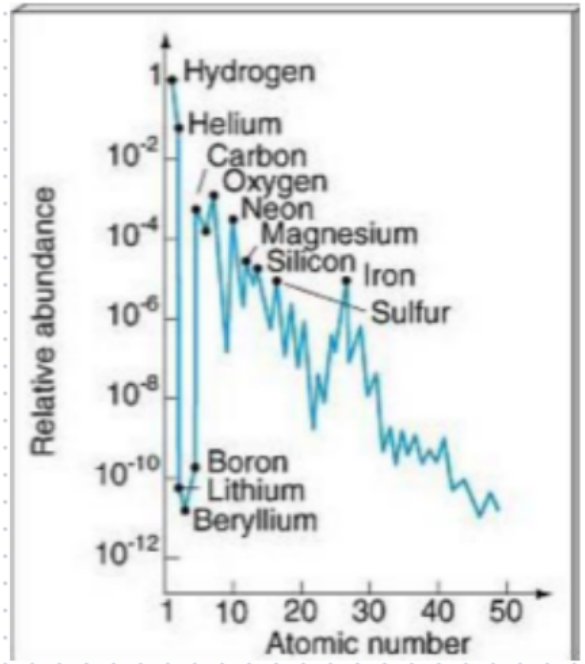
- **Sistema Solar:**



- Planetas telúricos (rochosos):

- Planetas jovianos (gasosos):





- **Nucleossíntese e abundâncias cósmicas dos elementos químicos:**

1) H é o elemento mais abundante do universo...

2) Em função de Z crescente existe uma decréscimo das abundâncias dos elementos cósmicos...

3) Li, Be e B são exceções...

Elementos artificiais:

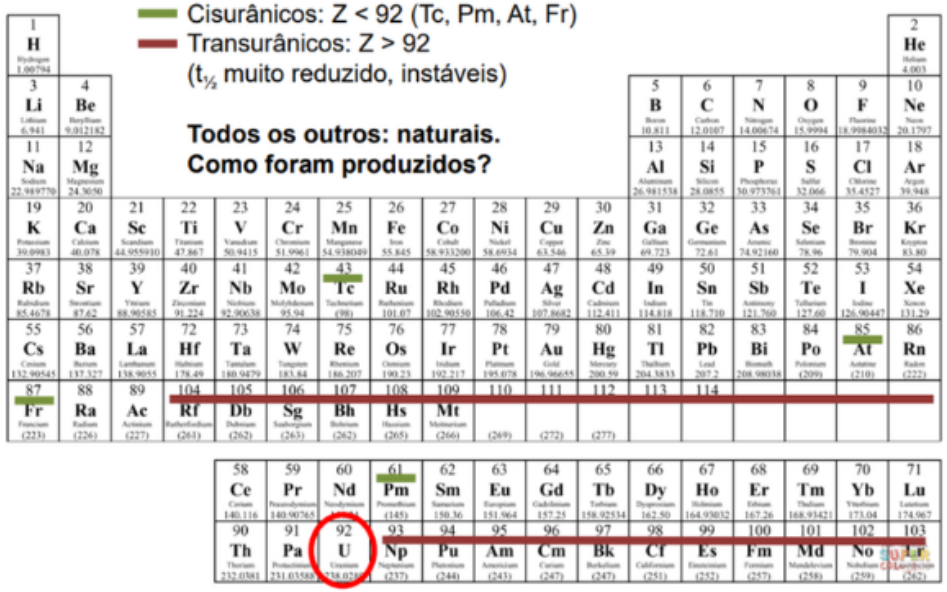
Cisurânicos: Z < 92 (Tc, Pm, At, Fr)

Transurânicos: Z > 92

($t_{½}$ muito reduzido, instáveis)

Todos os outros: naturais.

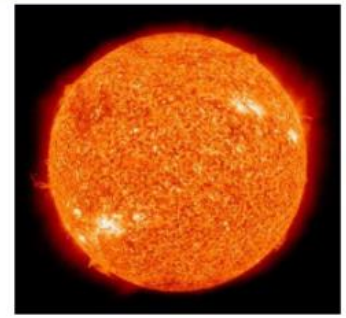
Como foram produzidos?



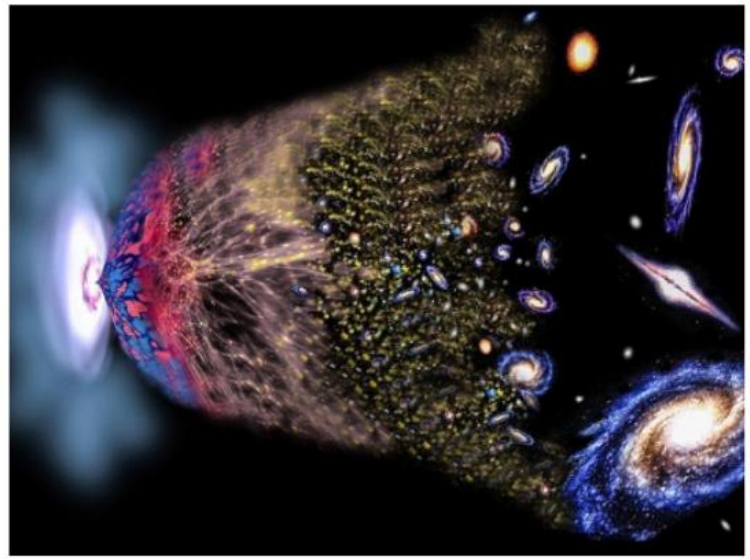
- Elementos Cisurânicos ($Z < 92$)
- Elementos Transurânicos ($Z > 92$)

Formação dos elementos químicos:

Três "tipos" de nucleossíntese



- Big Bang } Nucleossíntese primordial
- Estrelas
- Supernovas } Nucleossíntese estelar
- Processos interestelares } Nucleossíntese interestelar



- Partículas fundamentais:
  - Férmions: Partículas que formam a matéria.
    - Dividem-se em quarks e léptons.

- Partículas elementares/fundamentais:
  - Quarks U (carga: +2/3)...
  - Quarks D (carga: -1/3)...
  - elétrons e neutrinos (léptons)...
  - fótons...

Quarks + elétrons = MATÉRIA

Quarks Up (U)

Quarks Down (D)

Tipos de quarks:

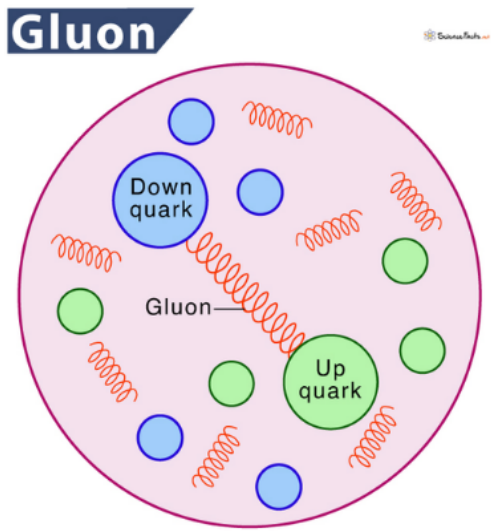
- up (u)
- down (d)
- charm (c)
- strange (s)
- top (t)
- bottom (b)

- **Léptons:**

Principais tipos:

- Elétron (e^-) → estrutura dos átomos...
- Múon (μ^-) → versões + pesadas do elétron...
- Tau (τ^-)
- Neutrinos... (Associações)... ν_e... ν_μ... ν_τ...
  - ↳ Atravessam a matéria com facilidade...

Partículas Quarks num mapa...



• Glúons: Partículas fundamentais ... agem como partículas de troca (bósons de calibre) Glu agem como a "cola" da força nuclear forte, mediando a interação entre quarks para formar partículas maiores como os prótons e os nêutrons.

- **Núcleons:**
  - abrangem prótons e nêutrons.
  - **Próton:** 2 quarks U + 1 quark D $\rightsquigarrow \frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = \frac{3}{3} = 1$
  - **nêutron:** 2 quarks D + 1 quark U $\rightsquigarrow -\frac{1}{3} - \frac{1}{3} + \frac{2}{3} = 0$

TIPOS DE RADIAÇÃO E DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA

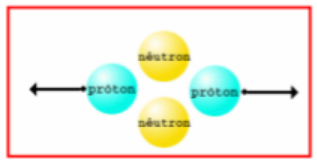
Decaimento Alfa (α)

A = 4
He Z = 2

• Radiação α: é constituída por núcleos de átomos de ^{4}He.

• Quando o núcleo pai emite uma partícula α, ocorre **diminuição do número atômico (Z) em duas unidades** e **diminuição do número de massa (A) em quatro unidades**. $\alpha = A-4\ Z-2$

• Característica de núcleos com elevado A, onde a **repulsão coulombiana** entre os prótons é muito grande.



$$^{A}X_{Z} \rightarrow {}^{A-4}Y_{Z-2} + {}^{4}He_{2}$$

$$^{A}X_{Z} \rightarrow {}^{A-4}Y_{Z-2} + \alpha$$

$$^{232}U_{92} \rightarrow {}^{228}Th_{90} + {}^{4}He_{2}$$

TIPOS DE RADIAÇÃO E DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA

Decaimento Beta (β)

• Radiação β: é constituída por elétrons (e^-) e pósitrons (e^+).

• Ocorrem duas situações, de acordo com o número de prótons e nêutrons no núcleo do átomo pai e a partícula emitida:

• Decaimento β^-: $n \rightarrow p + e^- + \nu$ $\quad \beta^- = n \rightarrow p + e^- + \nu$

• Decaimento β^+: $p \rightarrow n + e^+ + \nu$ $\quad \beta^+ = p \rightarrow n + e^+ + \nu$

TIPOS DE RADIAÇÃO E DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA

Decaimento β^-

$1n \rightarrow 1p$

• O número de nêutrons é muito elevado comparado ao número de prótons.

• Ocorre diminuição do número de nêutrons pela transformação de um nêutron em um próton.

- Ocorre emissão de um elétron e um neutrino (ν). $n \rightarrow p + e^- + \nu$
- Neutrinos são partículas neutras, extremamente pequenas e com massa insignificante

• O núcleo filho terá o **mesmo A** do núcleo pai, mas **Z uma unidade maior**.

$$^{A}X_{Z} \rightarrow {}^{A}Y_{Z+1} + e^- + \nu$$

$$^{14}C_6 \rightarrow {}^{14}N_7 + e^- + \nu$$

TIPOS DE RADIAÇÃO E DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA

Decaimento β^+

• O número de prótons é muito elevado comparado ao número de nêutrons.

• Ocorre diminuição do número de prótons pela transformação de um próton em um nêutron.

- Ocorre emissão de um pósitron (e^+) e um neutrino. $p \rightarrow n + e^+ + \nu$

• O núcleo filho terá o **mesmo A** do núcleo pai, mas **Z uma unidade menor**.

$$^{A}X_{Z} \rightarrow {}^{A}Y_{Z-1} + e^+ + \nu$$

$$^{11}C_6 \rightarrow {}^{11}B_5 + e^+ + \nu$$

Big Bang:

- O universo em sua fase inicial é caracterizado por uma elevada temperatura e densidade, onde toda matéria estaria reunida numa singularidade.
- Matéria e energia seriam indistinguíveis, não haveria espaço em seu entorno e o tempo não teria sentido.

Big Bang:

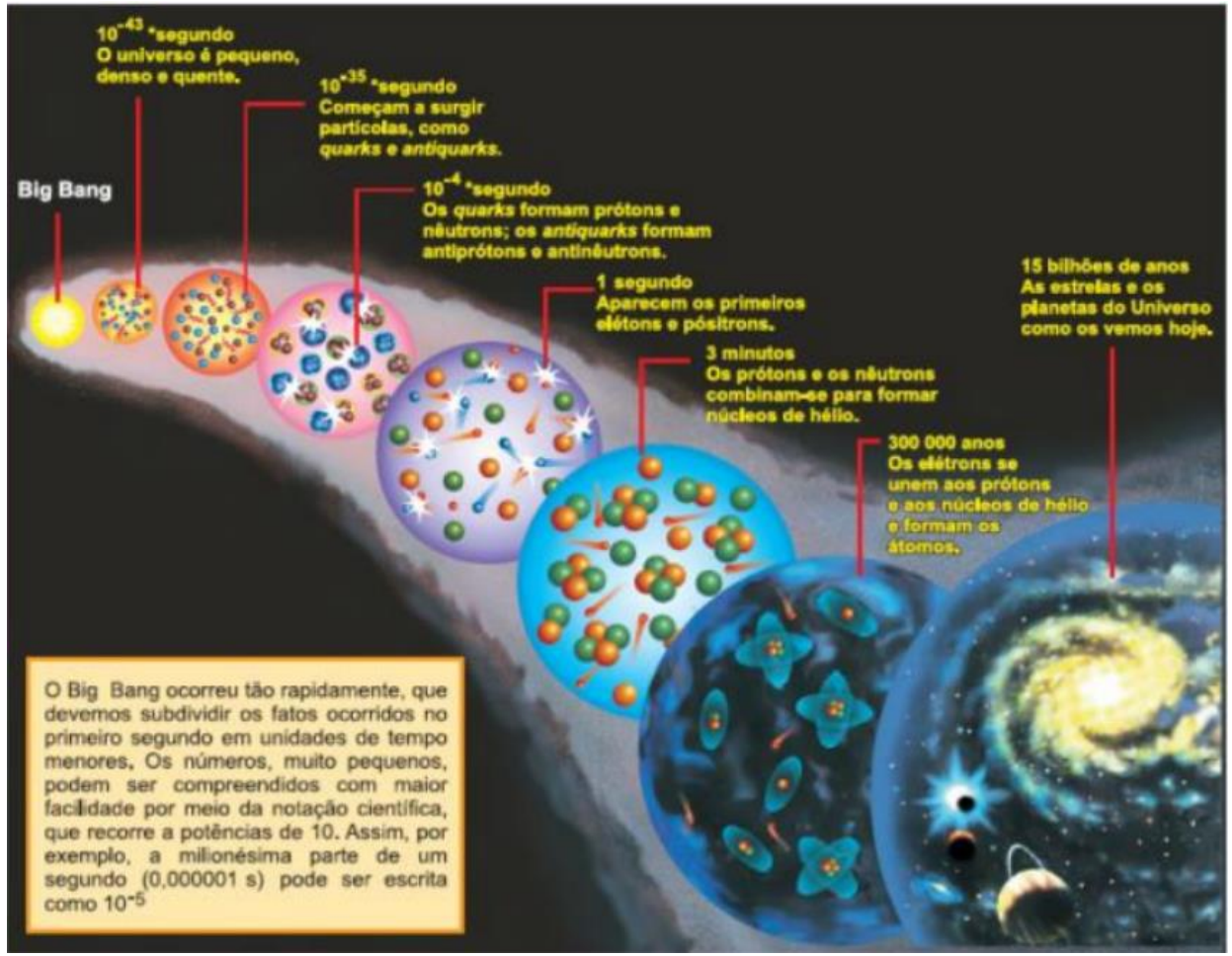
- Este ponto reunindo toda matéria e energia do universo teria explodido em um evento denominado Big Bang ou Grande explosão, dando origem ao universo.
- Com sua expansão, surgem as forças fundamentais da natureza, prótons, nêutrons e elétrons, os primeiros núcleos e posteriormente as primeiras estrelas e galáxias.

O BIG BANG

Nucleossíntese primordial

(Resfriamento: temperatura suficientemente baixa permitindo aos prótons capturarem elétrons)

Nucleossínteses estelar e interestelar

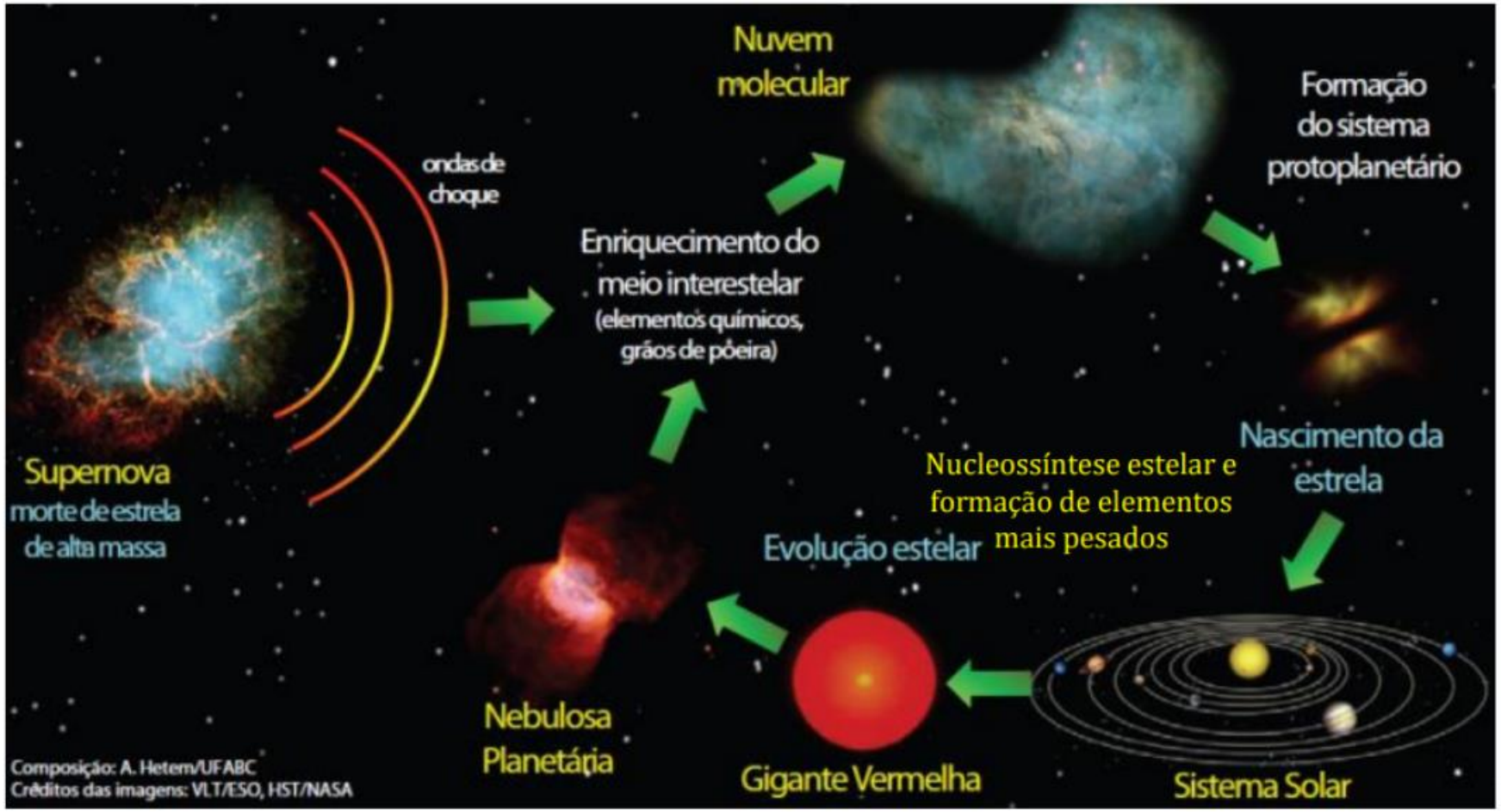

10^{-43} *segundo
O universo é pequeno, denso e quente.
10^{-35} *segundo
Começam a surgir partículas, como *quarks* e *antiquarks*.
Big Bang
10^{-4} *segundo
Os *quarks* formam prótons e nêutrons; os *antiquarks* formam antiprótons e antinêutrons.
1 segundo
Aparecem os primeiros elétons e pósitrons.
3 minutos
Os prótons e os nêutrons combinam-se para formar núcleos de hélio.
300 000 anos
Os elétrons se unem aos prótons e aos núcleos de hélio e formam os átomos.
15 bilhões de anos
As estrelas e os planetas do Universo como os vemos hoje.
O Big Bang ocorreu tão rapidamente, que devemos subdividir os fatos ocorridos no primeiro segundo em unidades de tempo menores. Os números, muito pequenos, podem ser compreendidos com maior facilidade por meio da notação científica, que recorre a potências de 10. Assim, por exemplo, a milionésima parte de um segundo (0,000001 s) pode ser escrita como 10^{-5}

- Nucleosíntese Primordial:
  Principais elementos formados → H e He

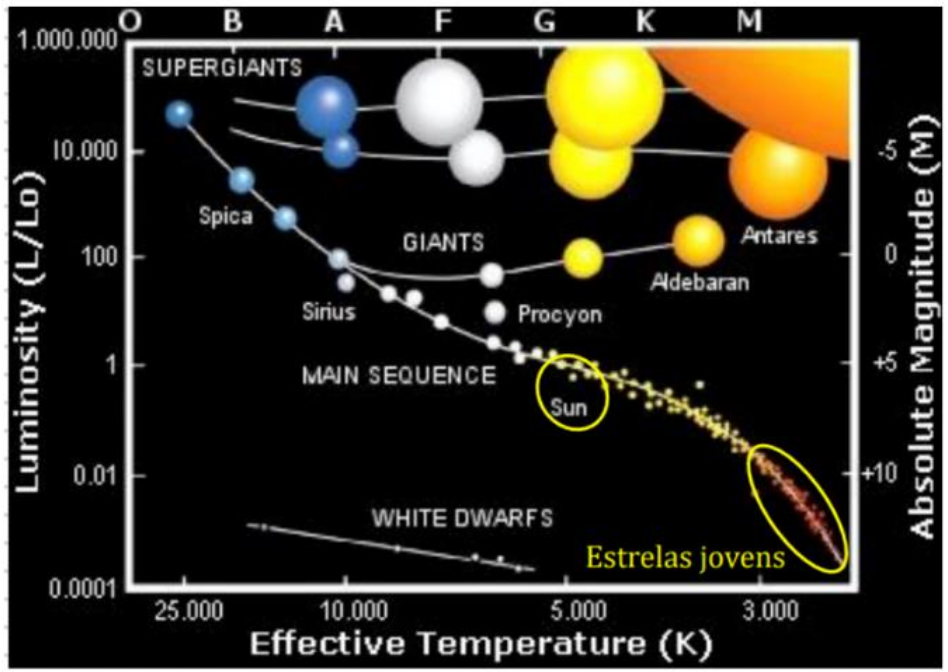
• Nucleossíntese Estelar:

- Matéria é confinada em Nebulosas.
- um volume menor com densidade ligeiramente mais alta entra em autocontração.
- O material entra em colapso produzindo uma esfera na região central
- formação de uma Protoestrela.

EVOLUÇÃO ESTELAR – ASPECTOS GERAIS



- Diagrama de Hertzsprung-Russel:



- Quando o centro da estrela atinge temperaturas em torno de 10^7 K, inicia-se as fusão nuclear do H produzindo o He.

• Tipos de Nucleossíntese Estelar:

• Nucleossíntese quiescente: reações nucleares que ocorrem ao longo da vida de toda estrela.

1) Cadeia próton-próton } Queima de H formando He.
2) Ciclo CNO
3) Processo Triplo alpha
4) Captura de partículas alpha
5) Reações de queima de C, Ne, O e Si. } Formação de elementos até o ^{56}Fe.

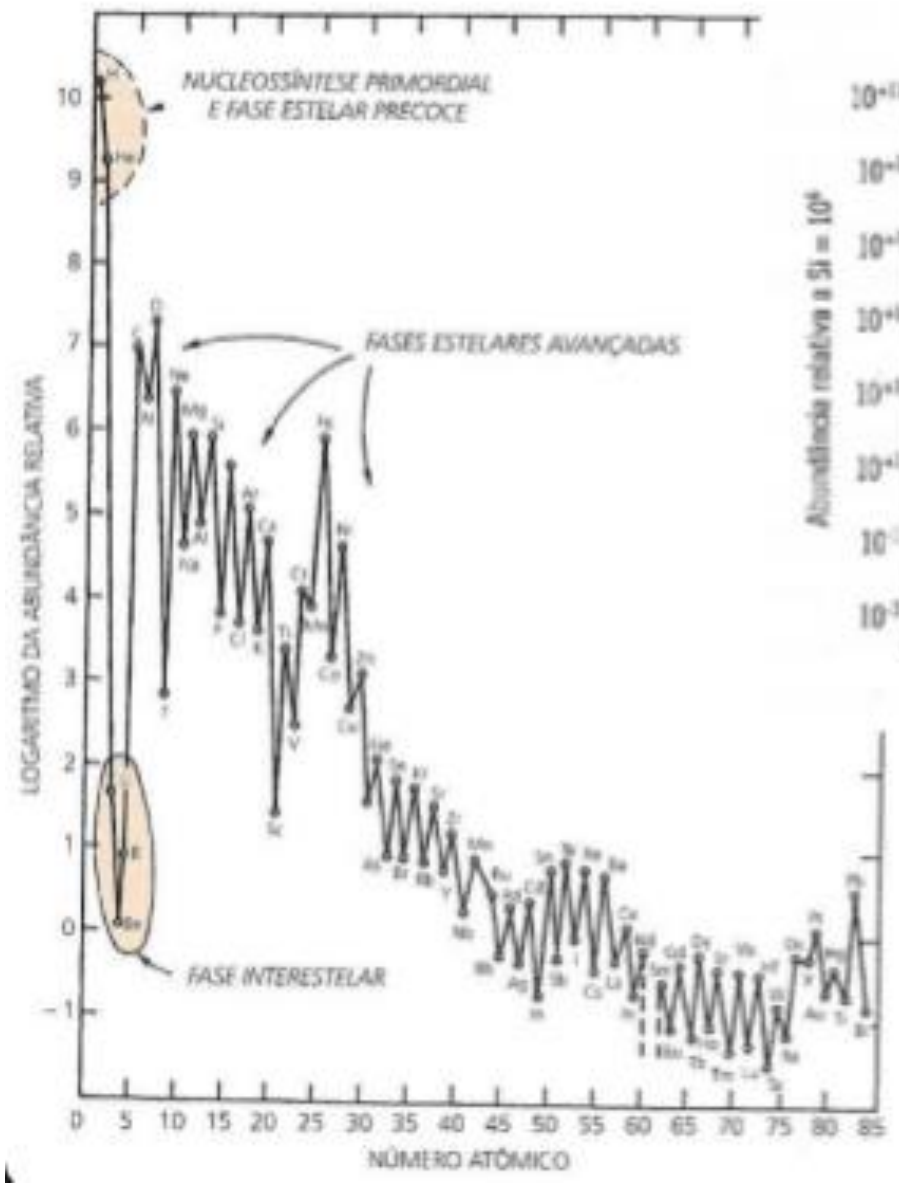
- **Tipos de Nucleossíntese Estelar:**

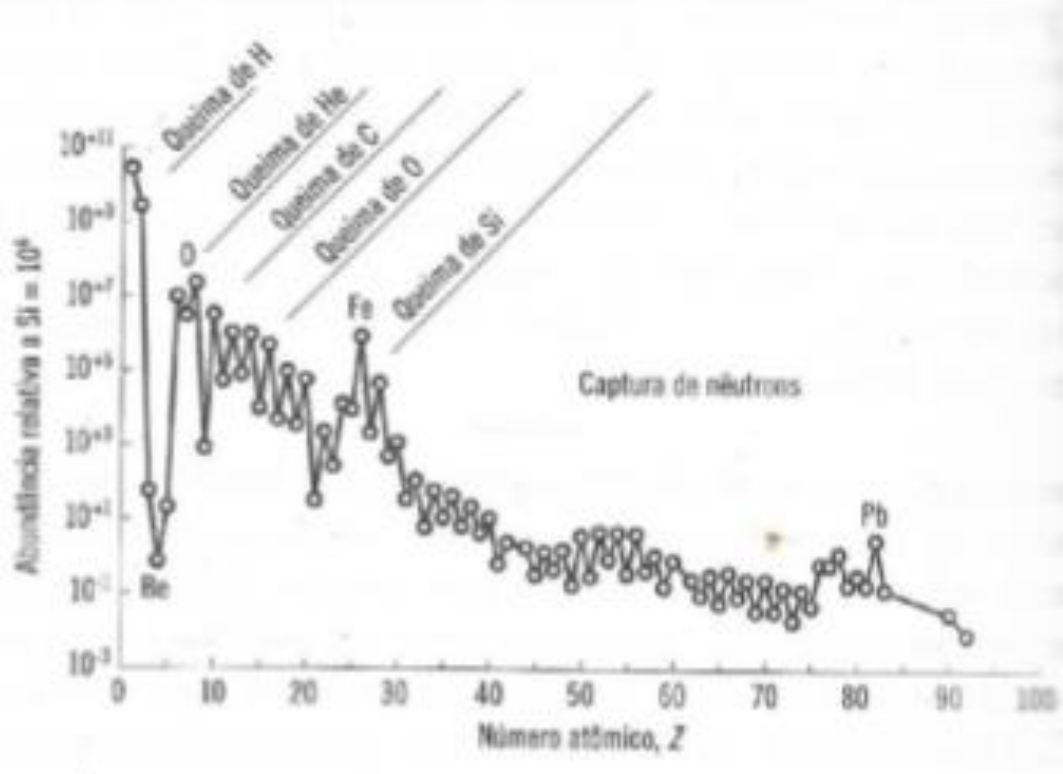
- **Nucleossíntese explosiva:** ocorre nos estágios finais de estrelas de grande massa em explosões de supernovas.

1) Processo s (slow)
2) Processo r (rapid)
3) Processo p (captura de prótons)

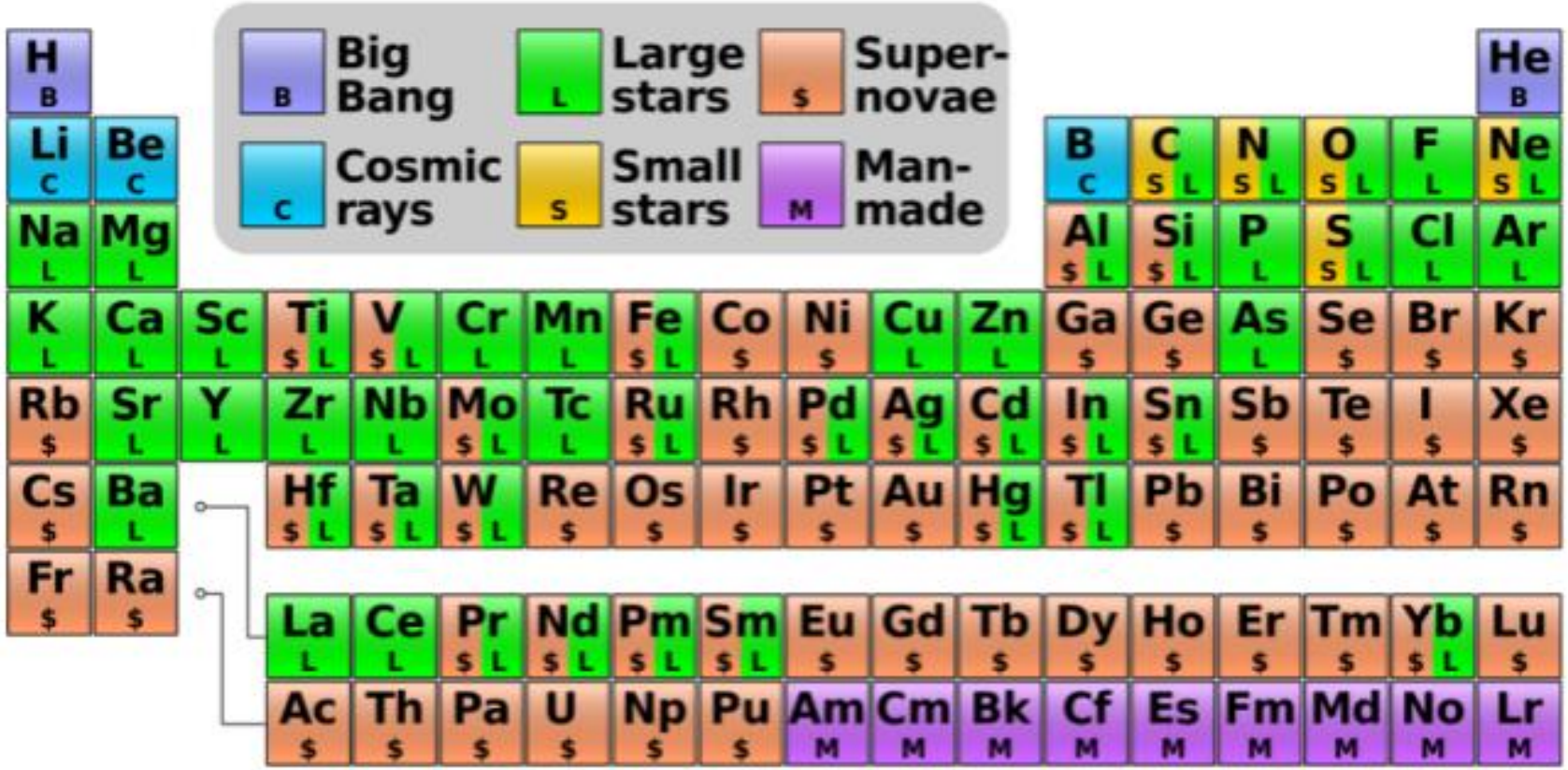
→ Formação de elementos mais pesados que o ^{56}Fe.

Do H ao Fe, a nucleossíntese por fusão nuclear no interior das estrelas é o processo predominante. A fusão de H para a formação do He é o processo predominante em baixa temperatura (10^7-10^8 K). O He produzido é queimado em maior profundidade no interior da estrela e em uma maior temperatura (10^8 K), para formar C, N e O, que são levados a temperaturas ainda mais elevadas (10^8-10^9 K) para a produção de Mg, Al, Ca e Si. A fusão cessa no elemento Fe, pois a produção de nuclídeos mais pesados requer o aporte de energia. Li, Be e B são queimados no interior das estrelas para a formação dos elementos mais pesados. A pequena quantidade desses átomos no material planetário foi produzida no meio interestelar a partir da quebra de nuclídeos mais pesados por raios cósmicos.

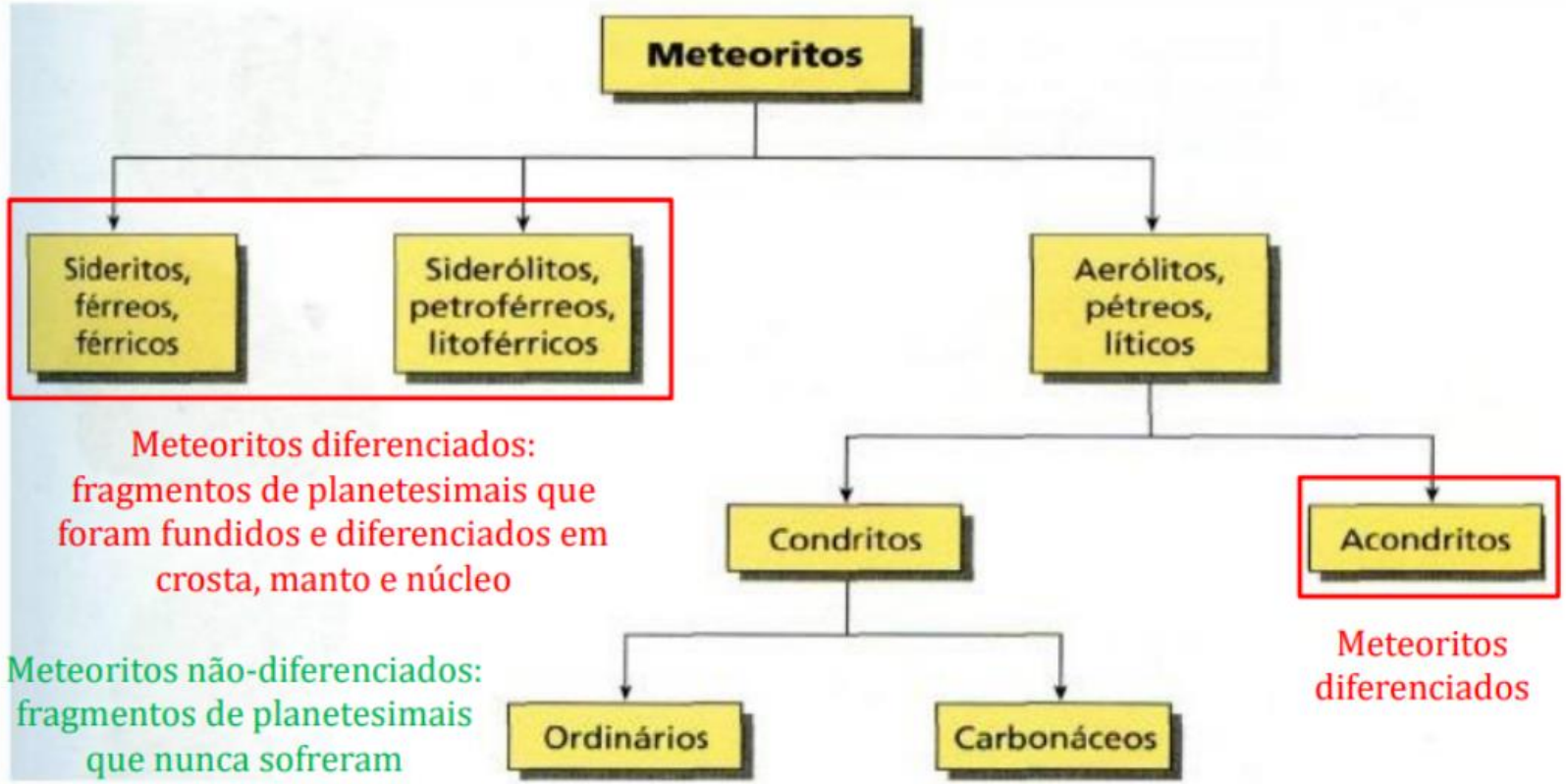

NUCLEOSSÍNTESE PRIMORDIAL
E FASE ESTELAR PRECOCE
FASES ESTELARES AVANÇADAS
FASE INTERESTELAR
LOGARITMO DA ABUNDÂNCIA RELATIVA
NÚMERO ATÔMICO


Queima de H
Queima de He
Queima de C
Queima de O
Queima de Si
O
Fe
Be
Pb
Captura de nêutrons
Abundância relativa a Si = 10⁶
Número atômico, Z

Em resumo...


B Big Bang
L Large stars
$ Super-novae
C Cosmic rays
S Small stars
M Man-made
H B
He B
Li C
Be C
B C
C $ L
N $ L
O $ L
F L
Ne $ L
Na L
Mg L
Al $ L
Si $ L
P L
S $ L
Cl L
Ar L
K L
Ca L
Sc L
Ti $ L
V $ L
Cr L
Mn L
Fe $ L
Co $
Ni $
Cu L
Zn L
Ga $
Ge $
As L
Se $
Br $
Kr $
Rb $
Sr L
Y L
Zr L
Nb L
Mo $ L
Tc L
Ru $ L
Rh $
Pd $ L
Ag $ L
Cd $ L
In $ L
Sn $ L
Sb $
Te $
I $
Xe $
Cs $
Ba L
Hf $ L
Ta $ L
W $ L
Re $
Os $
Ir $
Pt $
Au $
Hg $ L
Tl $ L
Pb $
Bi $
Po $
At $
Rn $
Fr $
Ra $
La L
Ce L
Pr $ L
Nd $ L
Pm $ L
Sm $ L
Eu $
Gd $
Tb $
Dy $
Ho $
Er $
Tm $
Yb $ L
Lu $
Ac $
Th $
Pa $
U $
Np $
Pu $
Am M
Cm M
Bk M
Cf M
Es M
Fm M
Md M
No M
Lr M

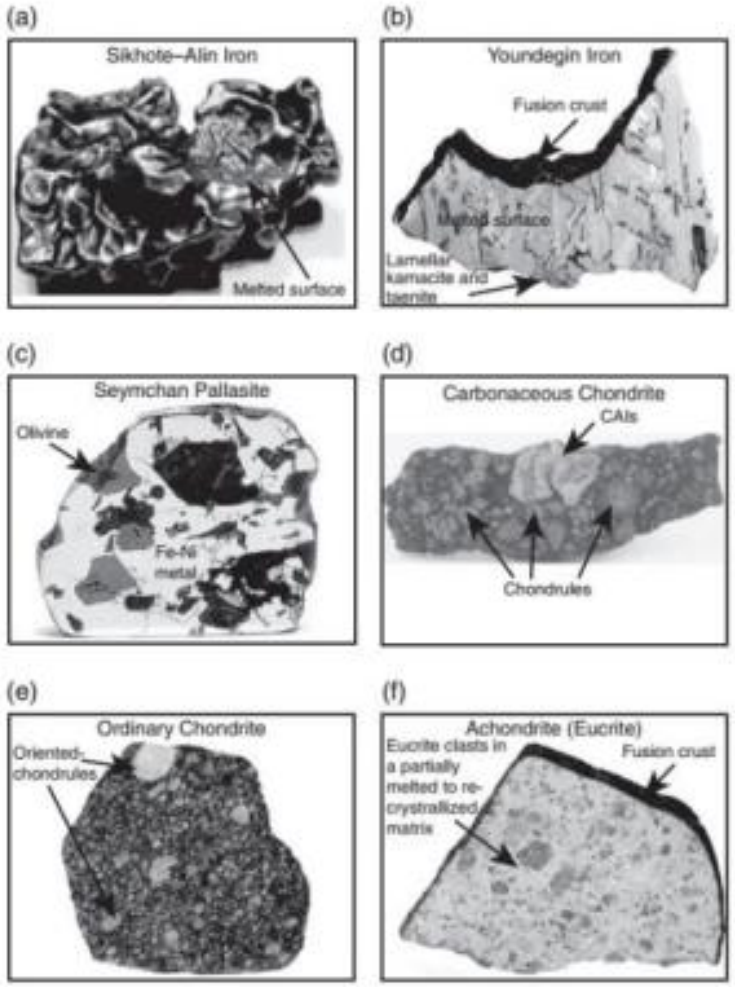
Classificação dos meteoritos



Meteoritos diferenciados: fragmentos de planetesimais que foram fundidos e diferenciados em crosta, manto e núcleo

Meteoritos não-diferenciados: fragmentos de planetesimais que nunca sofreram aquecimento até a fusão

Meteoritos diferenciados

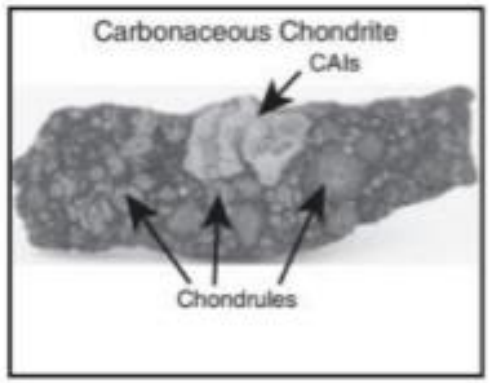


(a) e (b) meteoritos férreos
(c) meteoritos petroférreos
(d) condrito carbonáceo
(e) condrito ordinário
(f) acondrito

Condritos carbonáceos:

- Composição química e isotópica representativa do planetesimal do qual derivam.
- Podem refletir a composição da nebulosa solar onde se formaram.

Para que reflitam essa composição, as abundâncias dos elementos devem ser semelhantes à da fotosfera solar.



Cônd rulos:

• Formados por cristais de olivina e piroxênio, kamacita (liga de Fe-Ni) e troilita (FeS)

CAIs:

• Inclusões refratárias de Ca-Al

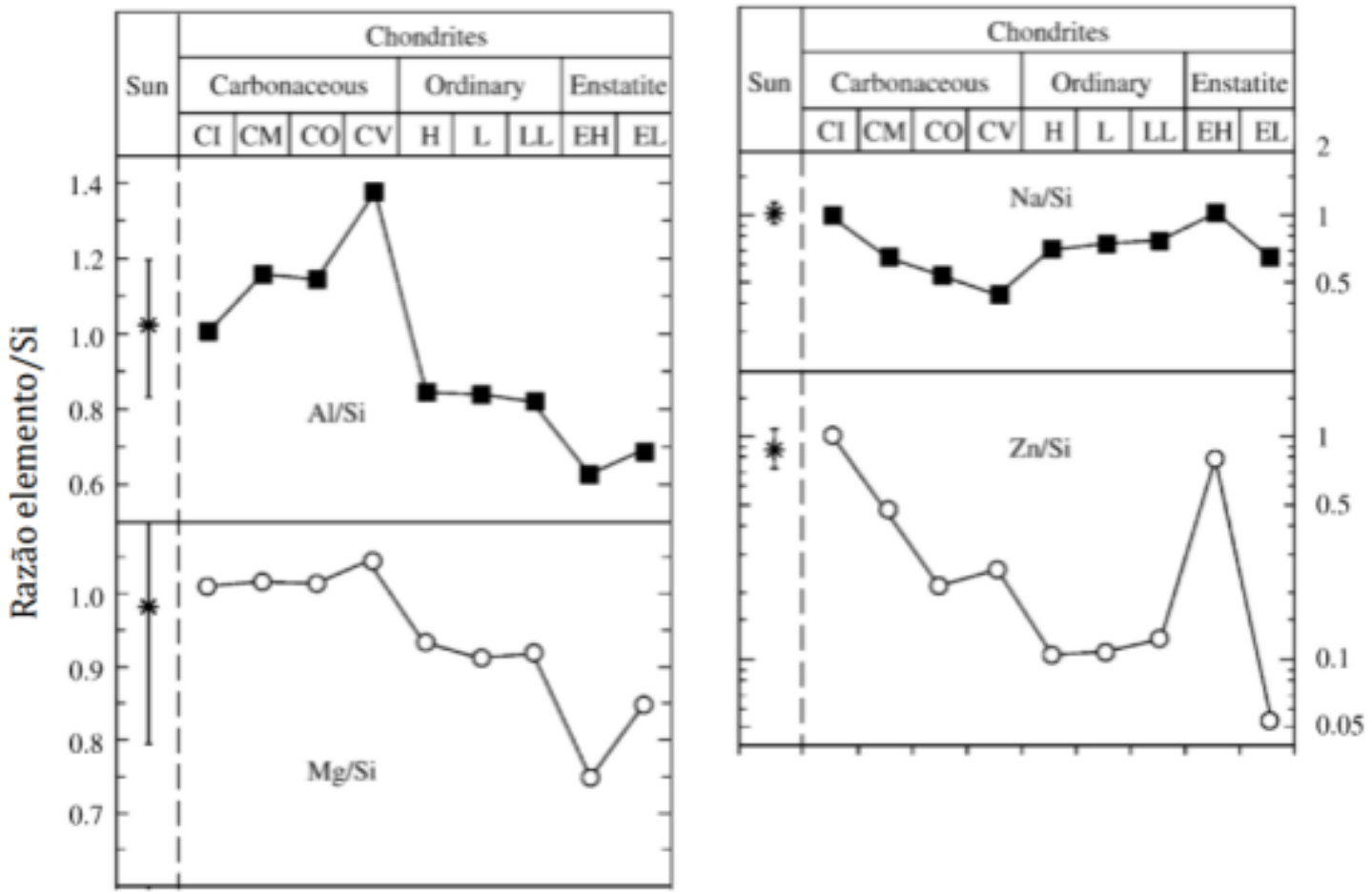
NO ENTANTO...

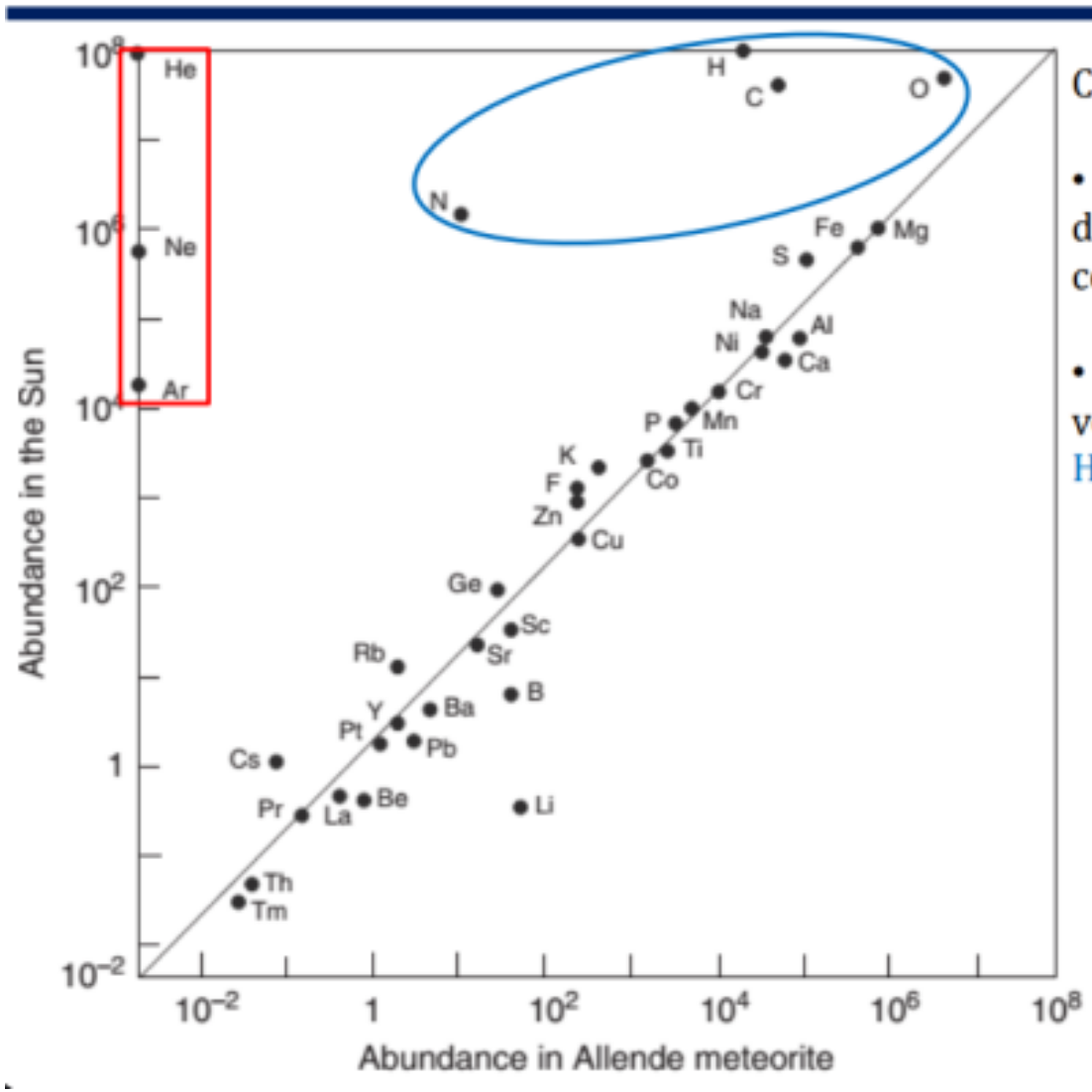
Condritos carbonáceos CI:

✓ Importantes por sua composição química "primitiva", no sentido de que as abundâncias dos elementos são próximas das abundâncias obtidas para a fotosfera solar.

✓ São usados como padrão na comparação do grau de fracionamento químico sofrido por materiais formados no sistema solar, incluindo rochas terrestres.

✓ Eles não apresentam cônd rulos ou CAIs, representando amostras não-diferenciadas de material do sistema solar.

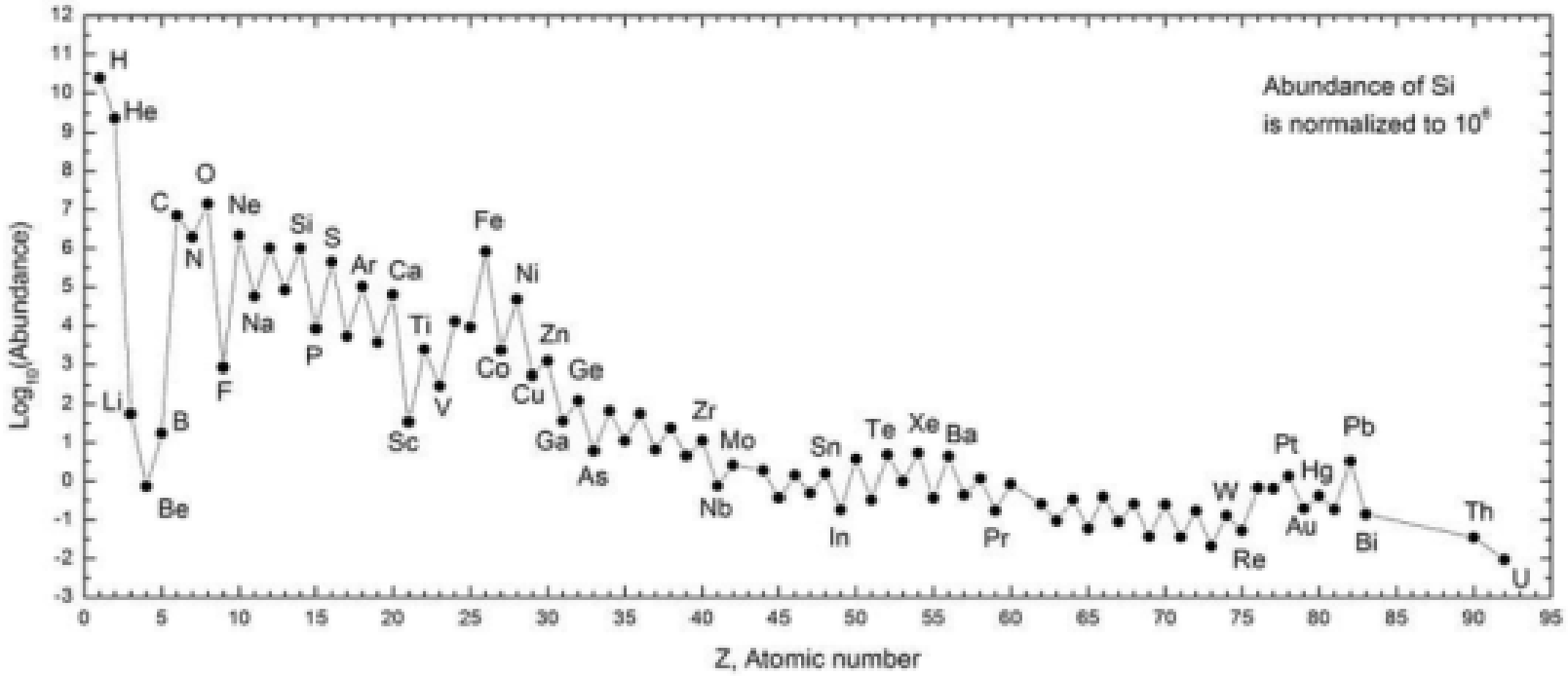

Razão elemento/Si
Sun
Chondrites
Carbonaceous
Ordinary
Enstatite
CI
CM
CO
CV
H
L
LL
EH
EL
Al/Si
Mg/Si
Na/Si
Zn/Si
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.9
0.7
2
1
0.5
0.1
0.05



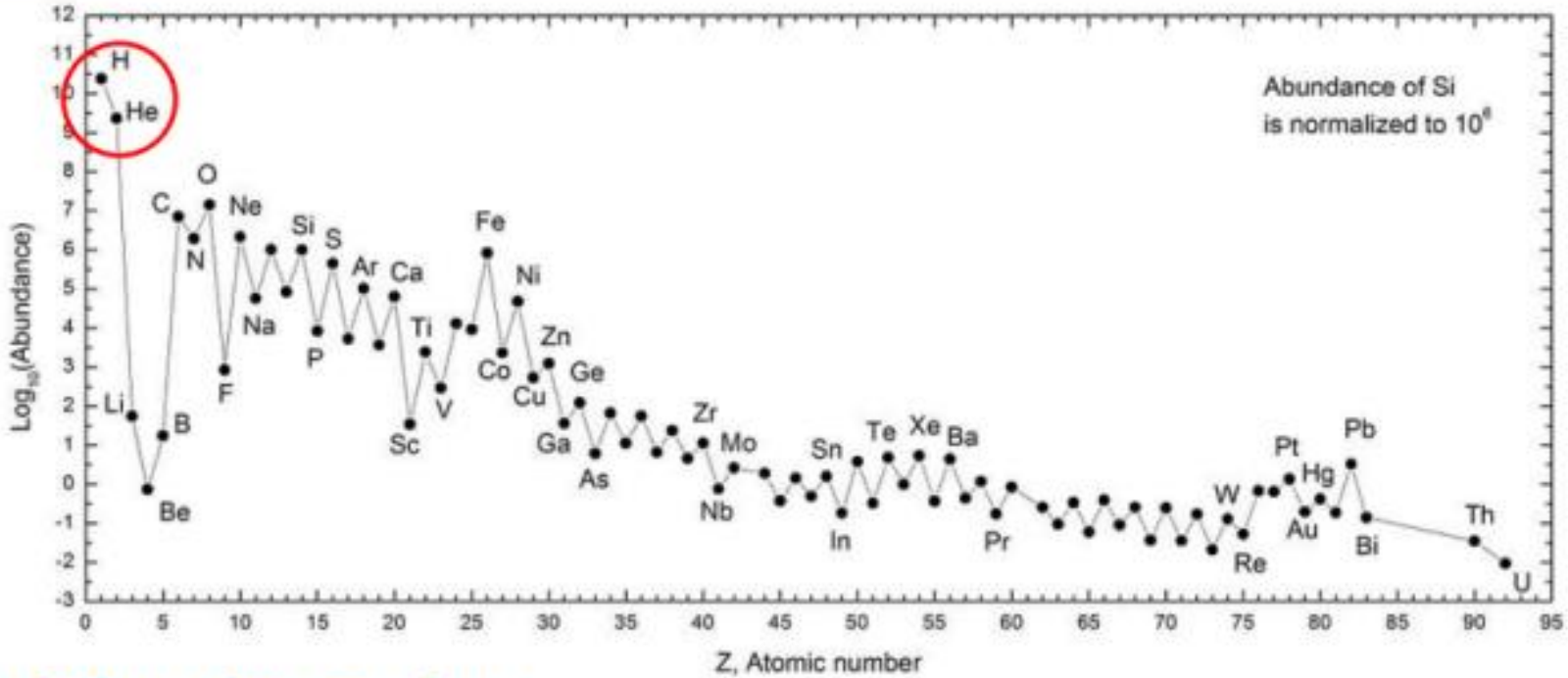
Condritos CI:

- Apresentam as abundâncias dos elementos concordantes com as abundâncias solares.

- Excluem-se os elementos voláteis, como gases nobres, H, C, O e N.

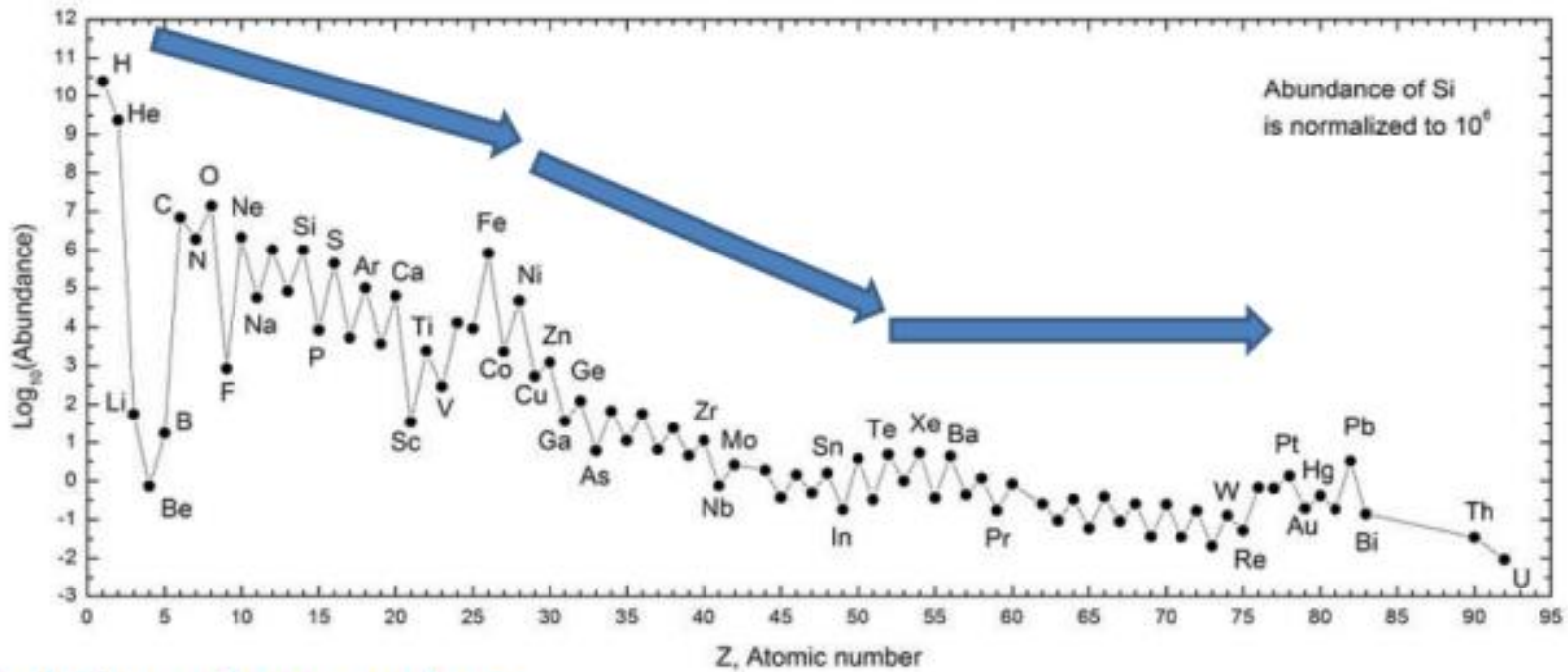


As abundâncias dos elementos no sistema solar são baseadas na análise de condritos CI, exceto para elementos voláteis, como H, C, N, O e gases nobres, para os quais os dados da fotosfera solar são usados.



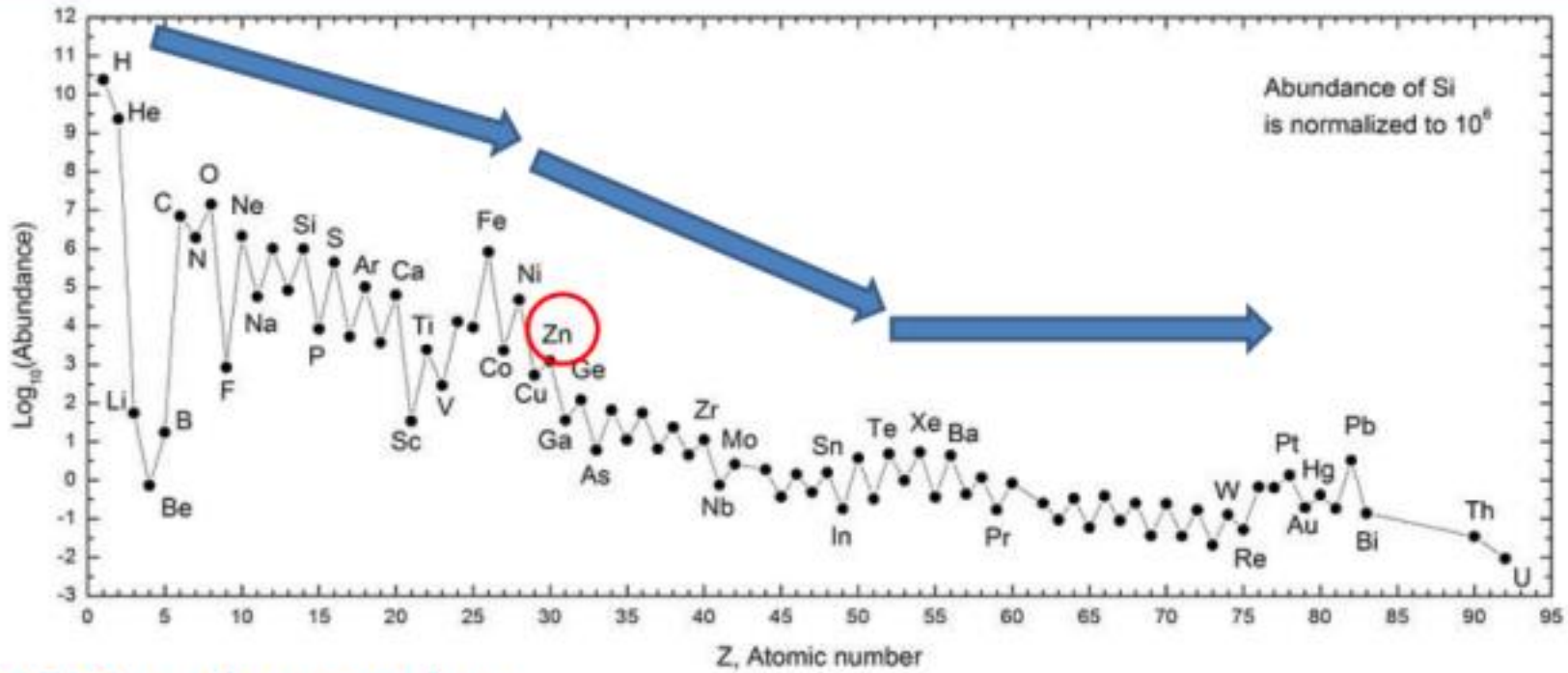
Padrões observados:

• **H e He são os elementos mais abundantes**, por terem sido os constituintes primários do universo primitivo (NUCLEOSSÍNTESE PRIMORDIAL).



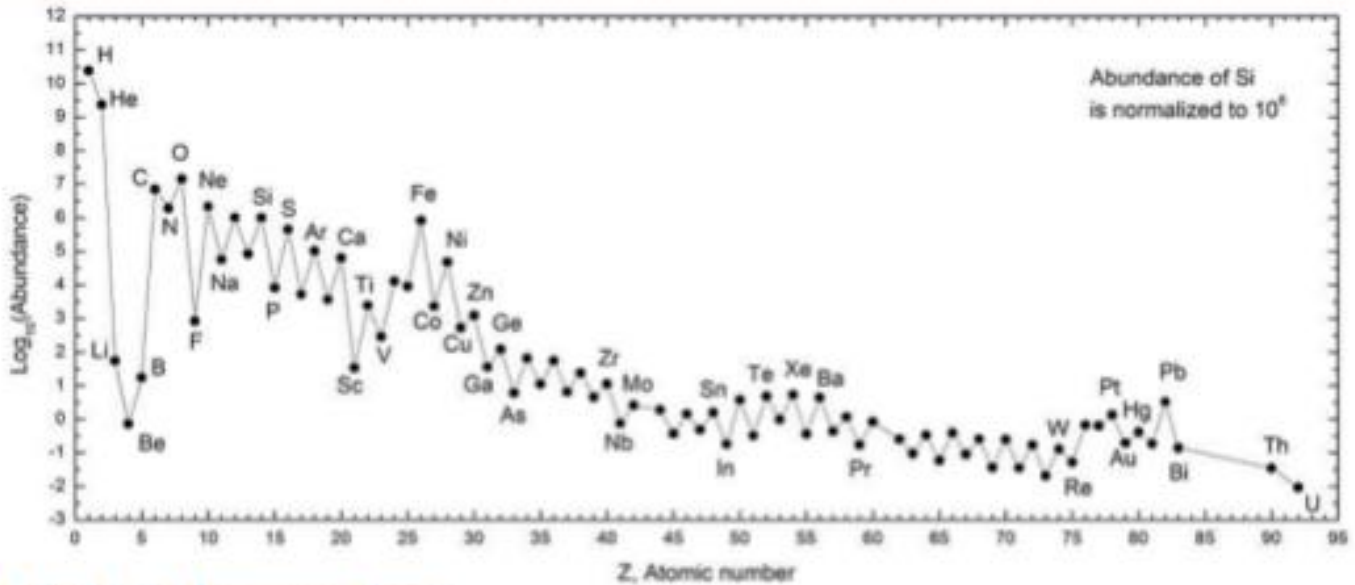
Padrões observados:

• O padrão geral mostra um **decréscimo nas abundâncias com o aumento do número atômico**.



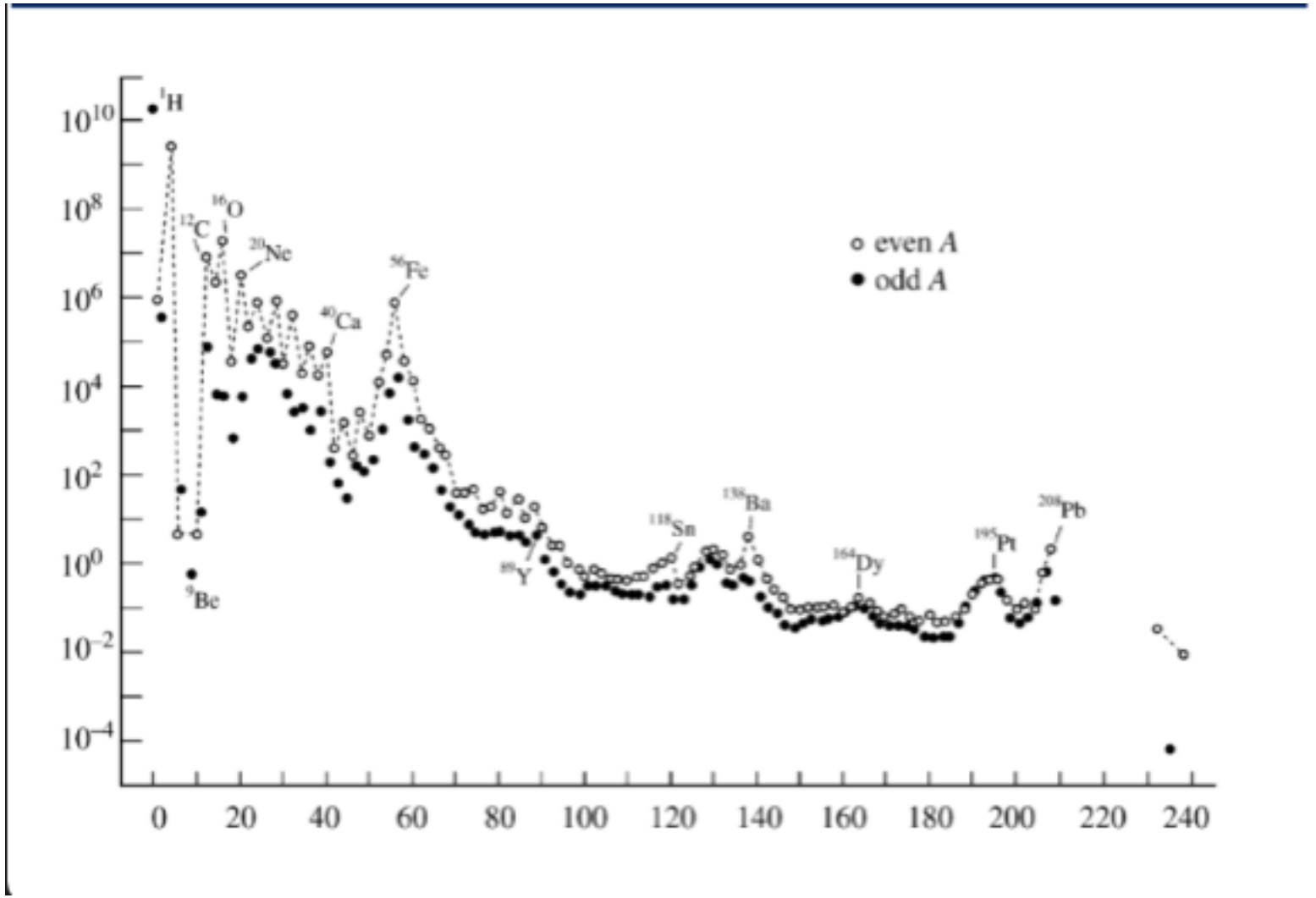
Padrões observados:

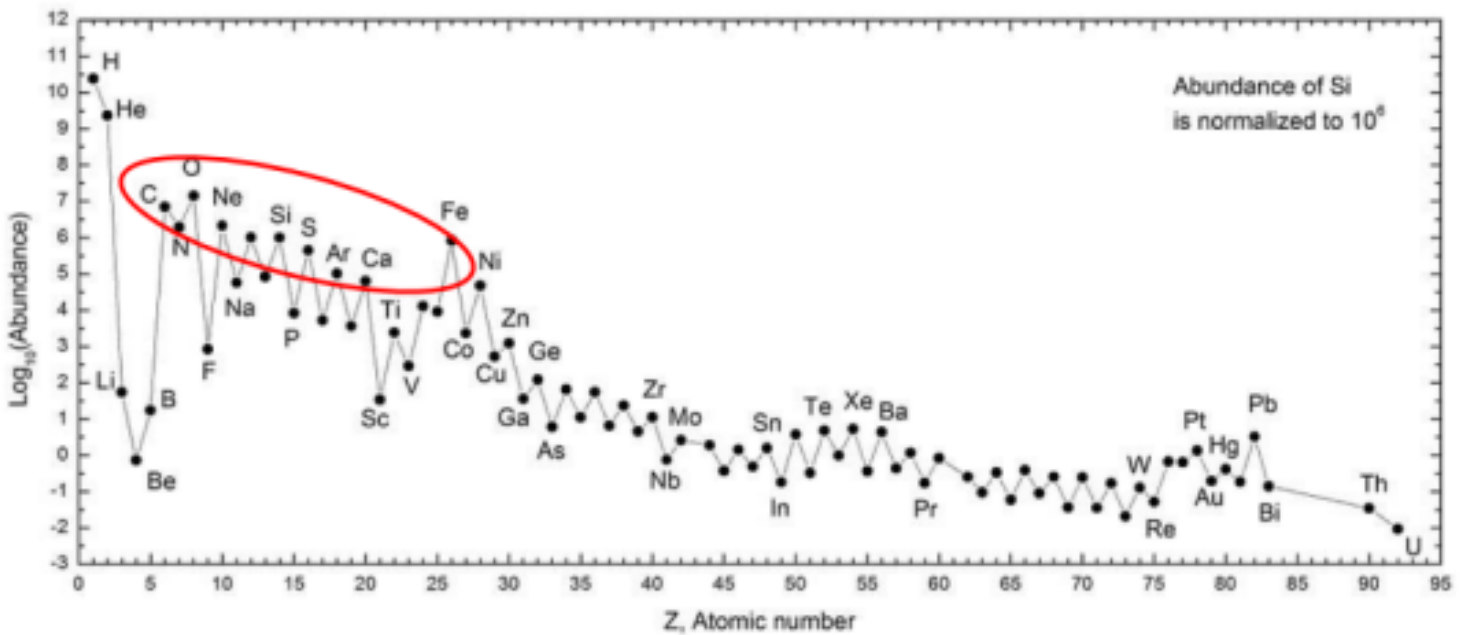
- Abundâncias mostram uma diminuição exponencial rápida para os elementos de Z < 30.



Padrões observados:

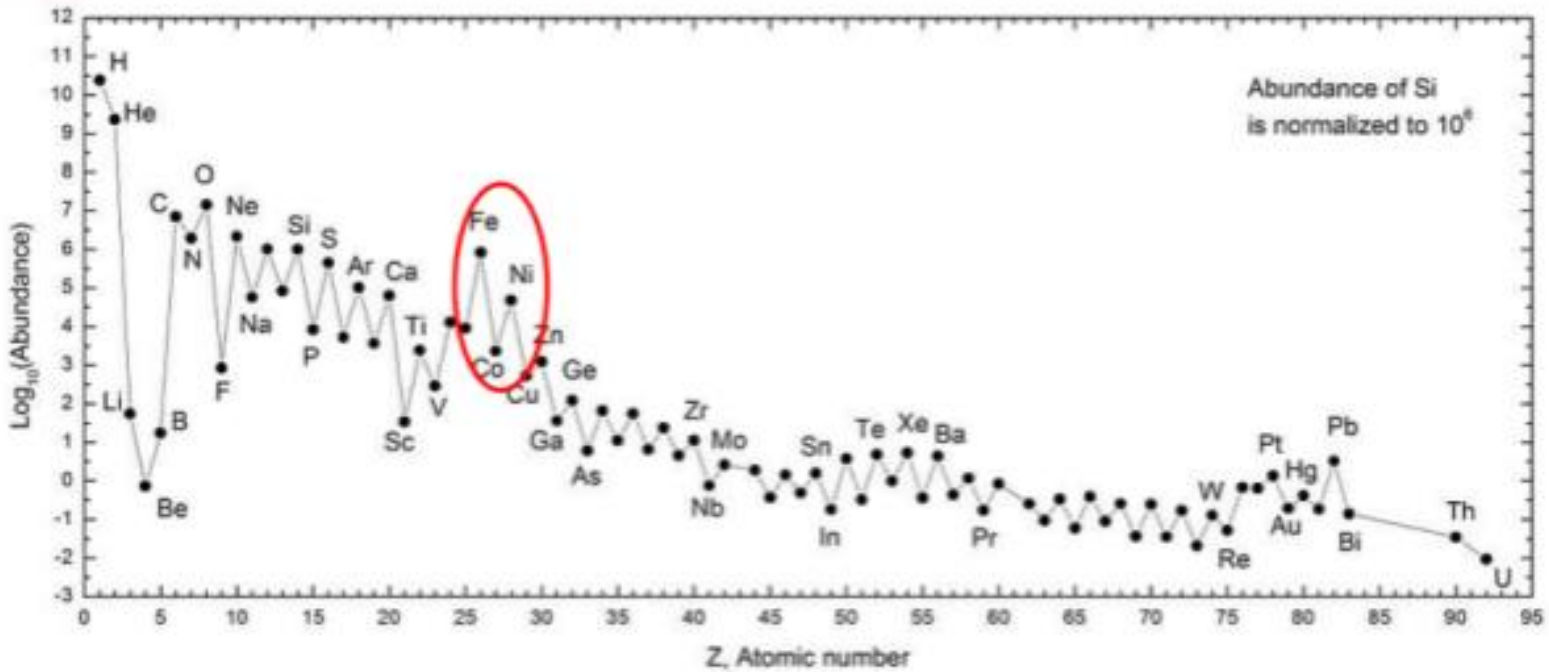
- Regra de Oddo-Harkins: **elementos de número atômico par são mais abundantes do que os de número atômico ímpar.**
- Os núcleos do tipo N par-Z par são mais numerosos e mais abundantes do que qualquer dos outros tipos, evidenciando a energia de ligação nuclear que é máxima para esses núcleos.
- Os núcleos do tipo N ímpar-Z ímpar, N ímpar-Z par ou N par-Z ímpar são em pequeno número e de pouca abundância.


10^{10}
10^{8}
10^{6}
10^{4}
10^{2}
10^{0}
10^{-2}
10^{-4}
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
^{1}H
^{12}C
^{16}O
^{20}Ne
^{40}Ca
^{56}Fe
^{9}Be
^{89}Y
^{118}Sn
^{138}Ba
^{164}Dy
^{195}Pt
^{208}Pb
even A
odd A



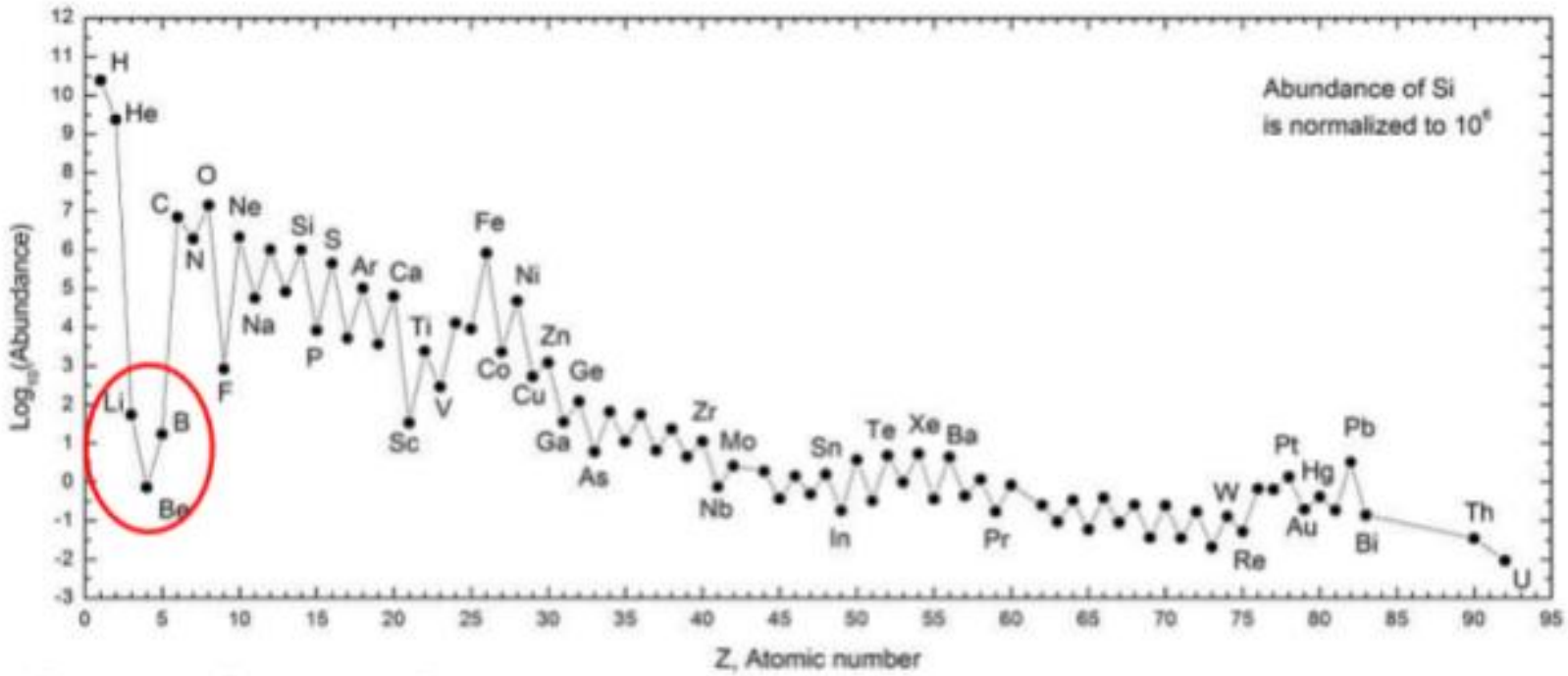
Padrões observados:

- H, He, C, N, O, Ne, Mg, Si, S e Fe mostram abundâncias consideráveis, sendo que H e He superam muito os demais.
  - H e He = 99 %, sendo 76% H e 23% He.
  - Em seguida, **os dez elementos mais abundantes** em ordem decrescente são **O, C, N, Ne, Mg, Si, Fe, S, Ar e Na.**



Padrões observados:

• **Elevadas abundâncias do Fe, Ni e Co**, em relação aos elementos vizinhos: explicada pela **queima de Si nas estrelas** (a elevada abundância do Fe o torna o principal elemento constituinte de núcleos planetários).



Padrões observados:

- **Li, Be e B tem abundâncias anormalmente baixas**, refletindo sua formação em processos de nucleossíntese interestelar.

- **Mercúrio:**

- **Planeta mais próximo do Sol**
- **Menor planeta do Sistema Solar**
- **Planeta telúrico (rochoso)**
- **Sem luas**
- **Órbita altamente excêntrica**
- **não possui atmosfera verdadeira**.
- Existe uma **exosfera extremamente fina**, composta por átomos dispersos.
- Principais componentes da exosfera:
- **Oxigênio (O)**
- **Sódio (Na)**
- **Hidrogênio (H)**
- **Hélio (He)**
- **Potássio (K)**

- Estrutura interna
- Mercúrio é **anômalo entre os planetas rochosos**.
- Camadas principais:
- **Núcleo metálico gigantesco**
- Ocupa **~85% do raio do planeta**
- Rico em **Fe–Ni**
- Parcialmente líquido
- **Manto muito fino**
- Silicático
- Muito menor que o da Terra
- **Crosta**
- Espessura variável
- Rica em minerais silicáticos

Por isso possui:

- alta densidade
- campo magnético ativo (fraco, mas real)

- # Marte:

- **Segundo planeta a partir do Sol**
- **Planeta telúrico (rochoso)**
- **Tamanho muito parecido com a Terra**
- **Sem luas**
- Conhecido como o **“gêmeo da Terra”** – levando em conta o tamanho no caso.

Vênus é **o planeta mais hostil do Sistema Solar**. P-T altíssimas.

- **<u>Atmosfera</u>:**
- Vênus tem uma **atmosfera extremamente densa e espessa**.
- Composição atmosférica:
- **CO_2:** ~96,5%
- **N_2:** ~3,5%
- Traços de:
  - **SO_2**
  - **H_2O**
  - **CO**
  - **HCl**
  - **HF**
  - Pressão atmosférica:
- **~92 vezes a da Terra**
  Equivalente a estar a ~900 m de profundidade no oceano.

Temperatura – efeito estufa extremo

- **Temperatura média da superfície: ~465 °C**
- Varia muito pouco entre dia e noite

Causa:

- **efeito estufa descontrolado**
- Atmosfera rica em CO_2 + nuvens espessas

Vênus é **mais quente que Mercúrio**, mesmo sendo mais distante do Sol.

- **<u>Nuvens de Vênus</u>:**
- As nuvens não são de água.
- Composição das nuvens:
- **Ácido sulfúrico (H_2SO_4)**
- Formadas a partir de:
- SO_2 + H_2O sob radiação solar

Extremamente corrosivas.

Estrutura interna (inferida)

Sem dados sísmicos diretos, mas modelos indicam:

Núcleo metálico

- Fe–Ni
- Provavelmente **parcialmente líquido**
- Pode não gerar campo magnético significativo

Manto

- Silicático
- Espesso, semelhante ao da Terra

Crosta

- Basáltica
- Espessura variável

Campo magnético

- **Não possui campo magnético global**
- Apenas campos induzidos pela interação com o vento solar

Possíveis causas:

- rotação lenta
- núcleo pouco convectivo

- **Composição química da superfície:**
- Dados de sondas soviéticas (Venera) e orbitadores.
- Elementos dominantes:
- **O**
- **Si**
- **Al**
- **Fe**
- **Mg**
- **Ca**
- Superfície dominada por:
- **basaltos**
- rochas máficas
- Destaques geoquímicos:
- Alto teor de **Fe**
- Indícios de **alteração química limitada** (ambiente seco)

Geologia da superfície

Vênus é **um planeta extremamente vulcânico**.

Principais feições:

- **Planícies basálticas extensas**
- **Vulcões gigantes** (ex: Maat Mons)
- **Coronae** (estruturas circulares únicas)
- Poucas crateras → superfície **relativamente jovem**

Idade média da superfície: **~300–700 milhões de anos**

Indica **ressurgimento global** (rejuvenescimento da crosta).

Água em Vênus

- Hoje: quase nenhuma
- Evidência passada:
- razão **D/H** elevada na atmosfera

Interpretação:

Vênus provavelmente teve **oceanos no passado**, perdidos por evaporação e escape atmosférico.

- **Júpiter:**
  - **Quinto planeta a partir do Sol**
  - **Maior planeta do Sistema Solar**
  - **Gigante gasoso**
  - **Sem superfície sólida definida**
  - **Tem dezenas de luas conhecidas**, incluindo **Ganimedes, Europa, Io e Calisto**

Júpiter é o **planeta mais massivo** do Sistema Solar (2,5 vezes a massa de todos os outros planetas juntos).

- **Atmosfera:**
- Júpiter é um **gigante gasoso**, então sua atmosfera domina toda a aparência do planeta.
- Principais componentes:
- **Hidrogênio (H_2):** ~89%
- **Hélio (He):** ~10%
- Traços de:
  - Metano (CH_4)
  - Amônia (NH_3)
  - Água (H_2O, em nuvens profundas)
  - Hidrosulfeto de amônio (NH_4SH)
  - Estrutura atmosférica:
  - **Nuvens superiores:** cristais de amônia **Nuvens médias:** NH_4SH **Nuvens profundas:** H_2O
  - Conhecido pelo **Grande Mancha Vermelha** – tempestade gigante há séculos.

Temperatura:

- **Topo das nuvens:** ~–145 °C
- **Interior profundo:** pode atingir **~24.000 °C** no núcleo (altas pressões + gravidade)

Estrutura interna

Júpiter não tem superfície sólida tradicional.

Camadas:

Atmosfera gasosa – H_2 + He, camadas de nuvens

Camada de hidrogênio metálico líquido

- Pressão suficiente para **transformar H_2 em condutor metálico**
- Responsável pelo **campo magnético poderoso**

Núcleo rochoso/gelado (possivelmente 10–20 massas terrestres)

- Composto por **rocha e gelo**
- Ainda incerto, mas menor comparado ao tamanho do planeta

Hidrogênio metálico → faz Júpiter gerar **campo magnético 14× mais forte que o da Terra**.

Campo magnético:

- Muito forte e extenso
- Cria **uma magnetosfera gigante**, que interage com suas luas
- Radiação intensa → ambiente hostil para sondas

Água e gelo:

- Presente **nas nuvens profundas** e possivelmente no núcleo
- Em luas como **Europa e Ganimedes**, há **oceanos líquidos sob crostas de gelo**

Fenômenos visíveis:

- **Faixas de nuvens** alternadas (zonas claras e escuras)
- **Jatos atmosféricos extremamente rápidos** (hundreds km/h)
- **Tempestades gigantes**, incluindo a famosa Grande Mancha Vermelha

Atmosfera turbulenta → estudo de dinâmica fluida extrema.

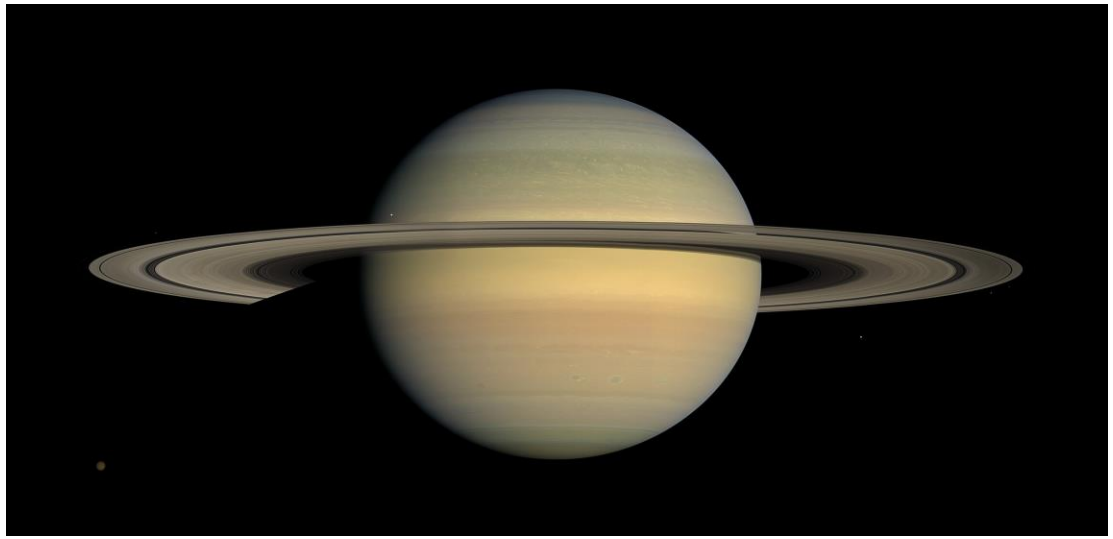
Composição química e abundâncias:

- H, He dominam (~99% da massa)
- Metais e compostos voláteis presentes em traços:
- CH_4, NH_3, H_2O, PH_3, H_2S
- Relativamente **rico em elementos leves**, pobre em oxigênio livre

•Saturno:

- **Sexto planeta a partir do Sol**
- **Gigante gasoso**, similar a Júpiter, mas menor
- **Famoso pelos anéis espetaculares**
- **Muitas luas**, incluindo **Titã, Reia, Encélado**
- **Sem superfície sólida definida**

Saturno é **menos denso que a água** (se houvesse um oceano gigante, flutuaria!)



Atmosfera:

Saturno é um **gigante gasoso**, sua atmosfera é parecida com a de Júpiter, mas menos intensa.

Composição principal:

- **Hidrogênio (H_2):** ~96%
- **Hélio (He):** ~3%
- Traços de:
- Metano (CH_4)
- Amônia (NH_3)
- Água (H_2O)
- Hidrosulfeto de amônio (NH_4SH)

Estrutura de nuvens:

Nuvens superiores: cristais de amônia

Nuvens médias: NH_4SH

Nuvens profundas: H_2O

Tempestades menos visíveis que em Júpiter, mas há **faixas de nuvens e jatos atmosféricos rápidos**.

Temperatura:

- **Topo das nuvens:** ~–140 °C
- **Interior profundo:** pode atingir **~11.700 °C**

Menos quente que Júpiter porque Saturno tem **menor massa e pressão interna**.

Água e gelo:

- Presente nos anéis e nas luas geladas
- Nuances de H_2O podem ser detectadas na atmosfera profunda

Várias luas têm **oceanos subsuperficiais** (Ex.: Encélado).

Fenômenos visíveis

- **Faixas de nuvens paralelas**
- **Tempestades menores** que Júpiter
- **O "Hexágono de Saturno"** – tempestade em padrão hexagonal no polo norte

Composição química e abundâncias

- H e He dominam (~99% da massa)
- Traços de CH_4, NH_3, H_2O, PH_3, H_2S
- Mais pobre em metais e elementos pesados que Júpiter

- **Campo magnético:**
- Menos intenso que o de Júpiter
- Campo quase alinhado ao eixo de rotação
- Cria **uma magnetosfera extensa**, mas mais fraca que Júpiter
- **Anéis:**
- Compostos por **trilhões de partículas** de gelo e rocha
- Faixas bem definidas: **A, B, C, D, E, F, G**
- Tamanho das partículas: micrômetros a metros
- Origens:
  - Fragmentos de luas destruídas
  - Material remanescente da formação do planeta
  - Sistema de anéis é **o mais espetacular do Sistema Solar**.

Estrutura interna:

Camadas principais:
Atmosfera gasosa – H_2 + He
Hidrogênio metálico líquido
- Menor proporção que em Júpiter
- Contribui para **campo magnético** **Núcleo rochoso/gelado**
- 10–20 massas terrestres
- Mistura de rochas e gelo

Estrutura semelhante a Júpiter, mas núcleo mais frio e menos hidrogênio metálico.

Urano:

- **Sétimo planeta do Sol**
- Classificação: **gigante de gelo**
- **Inclinação axial extrema:** ~98° (gira “de lado”)
- **Anéis tênues** e várias luas

Características principais:

- Raio: ~25.362 km
- Massa: ~14,5 massas terrestres
- Densidade: ~1,27 g/cm³

Atmosfera:

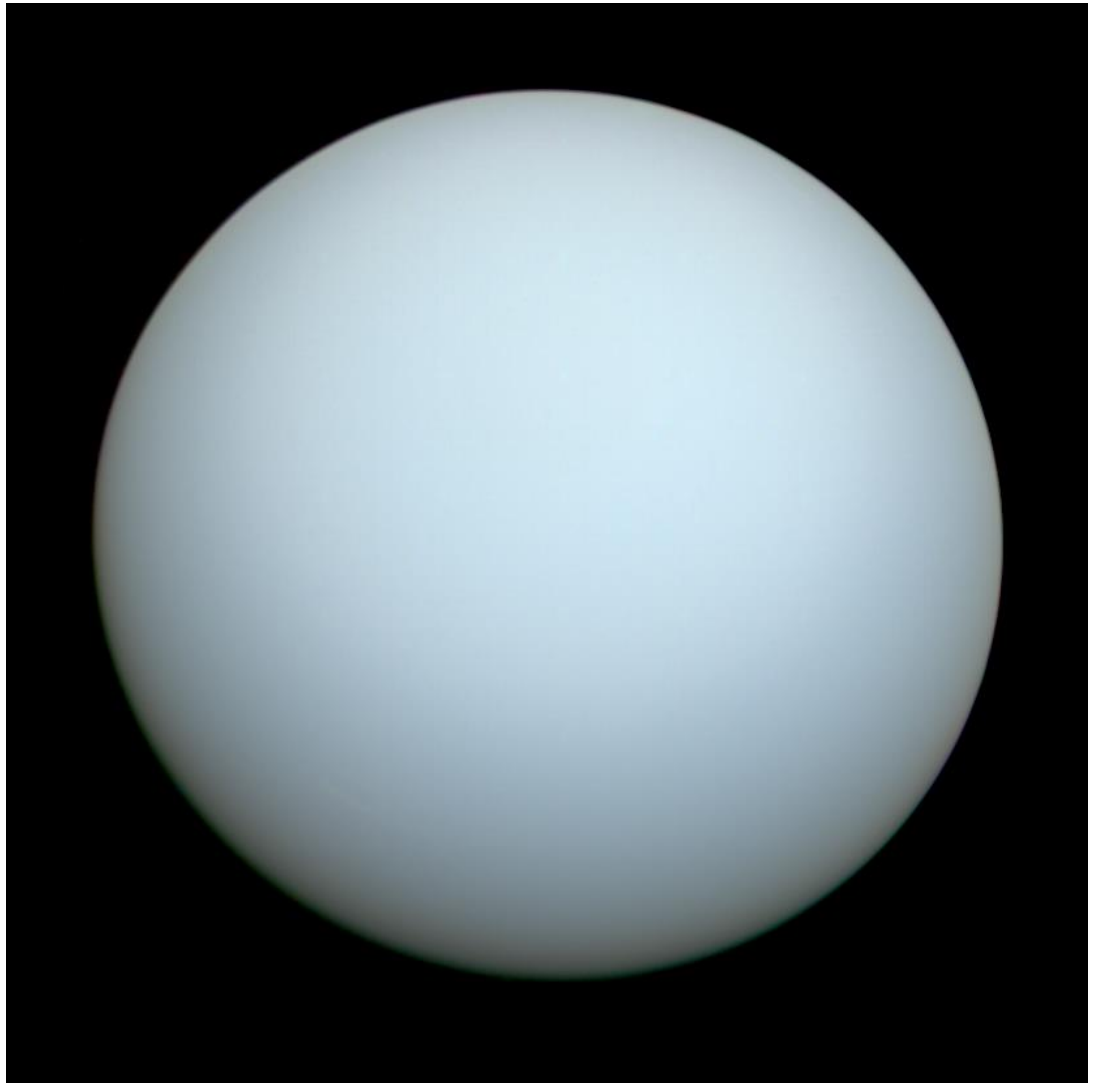
- **H_2 e He** (dominantes)
- **Metano (CH_4)** → responsável pela **cor azul-esverdeada**
- Temperatura média: **~ –224 °C** (o planeta mais frio)

Estrutura interna:

- Pequeno núcleo rochoso
- Manto rico em **gelo de água, amônia e metano** (na verdade fluidos sob alta pressão)
- Camada externa gasosa fina

Campo magnético:

- Forte, mas **muito inclinado e deslocado** do centro do planeta



Netuno:

- **Oitavo planeta do Sol**
- Classificação: **gigante de gelo**
- Mais distante e **mais ativo que Urano**
- Possui **anéis tênues** e luas (destaque: **Tritão**)

Características principais:

- Raio: ~24.622 km
- Massa: ~17 massas terrestres
- Densidade: ~1,64 g/cm³

Atmosfera:

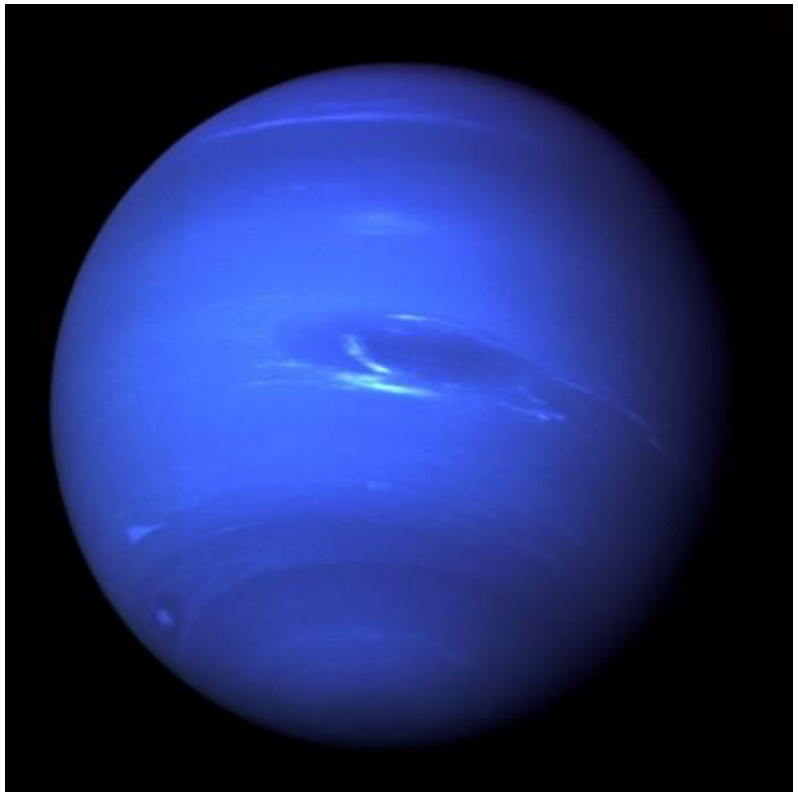
- **H_2 e He**
- **Metano (CH_4)** → azul mais intenso que Urano
- Ventos mais rápidos do Sistema Solar (> 2.000 km/h)
- Temperatura média: **~ –214 °C**

Estrutura interna:

- Núcleo rochoso
- Manto espesso de fluidos ricos em **H_2O, NH_3 e CH_4**
- Envelope gasoso externo

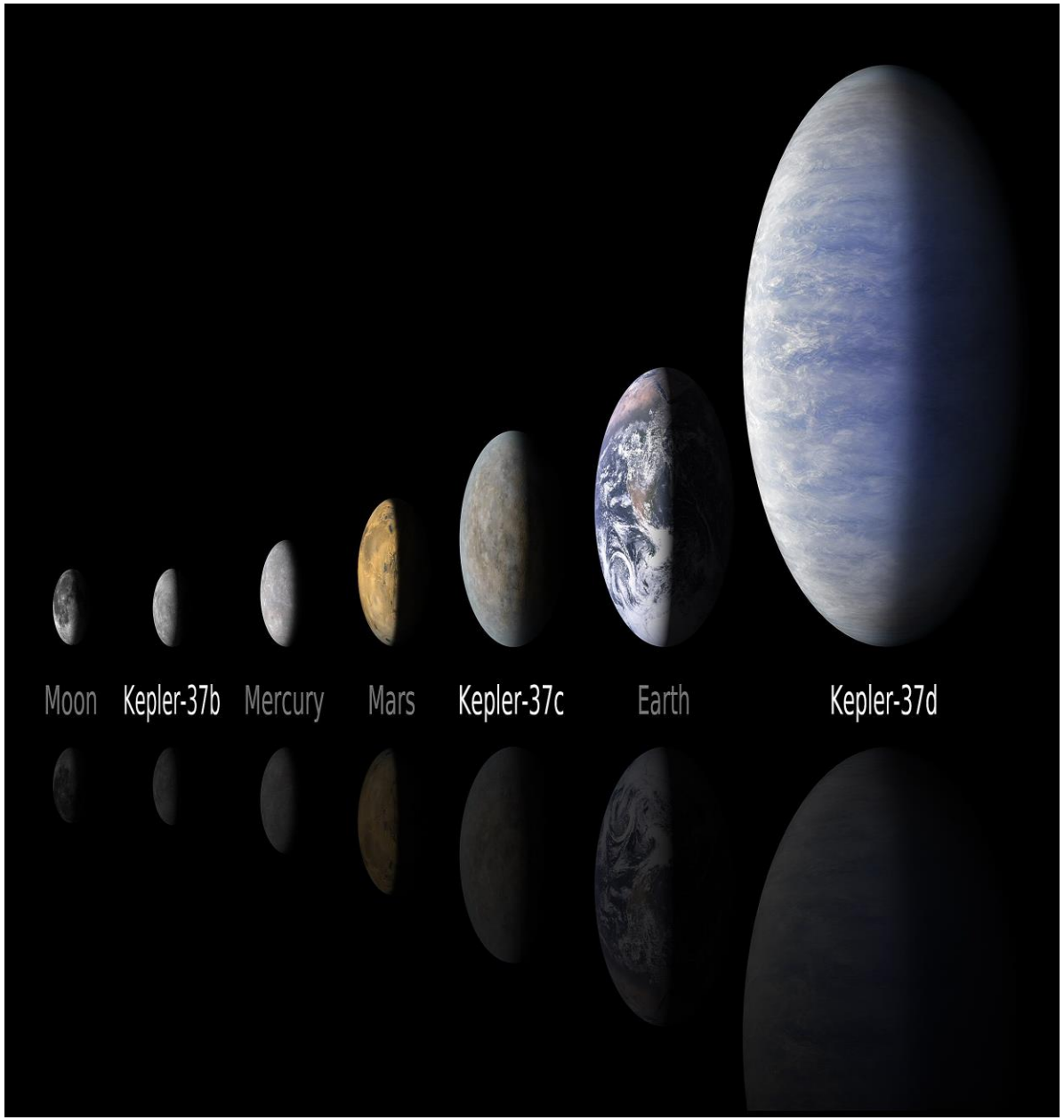
Campo magnético:

- Forte, **inclinado e deslocado**, semelhante ao de Urano

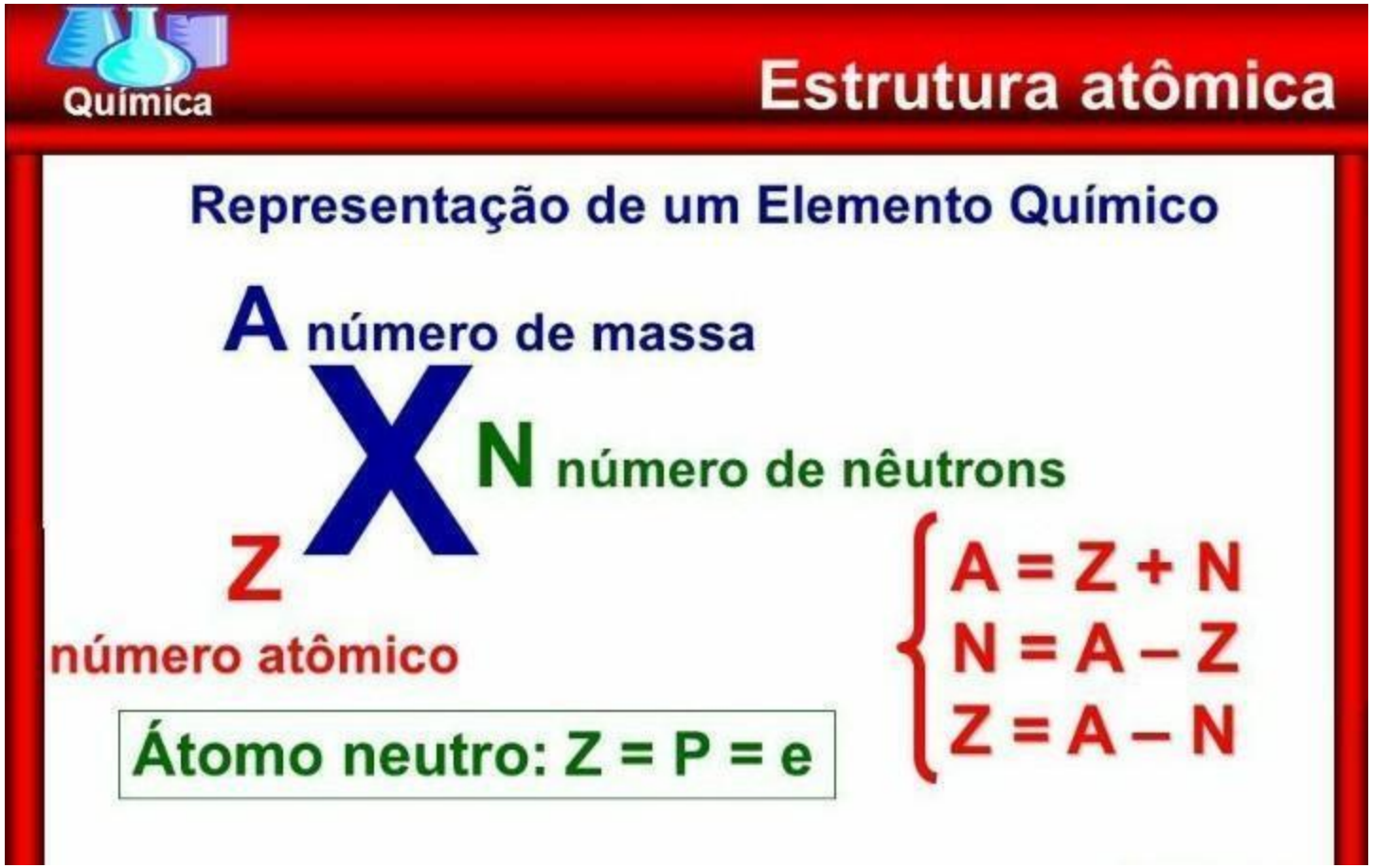


- **Exoplanetas:**

Comparação do tamanho de exoplanetas que orbitam Kepler-37 com Mercúrio, Marte e a Terra



- **Material de consulta:**



Exercício:

- Qual o número atômico (Z)?
- Qual o número de massa (A)?
- Qual o número de prótons?
- Qual o número de elétrons?
- Qual o número de nêutrons?

$^{27}_{13}Al$

Z = 13
A = 27
p = 13
e = 13
n = 14

$^{56}_{26}Fe$

Z = 26
A = 56
p = 26
e = 26
n = 30

• Classificação de Goldschmidt:

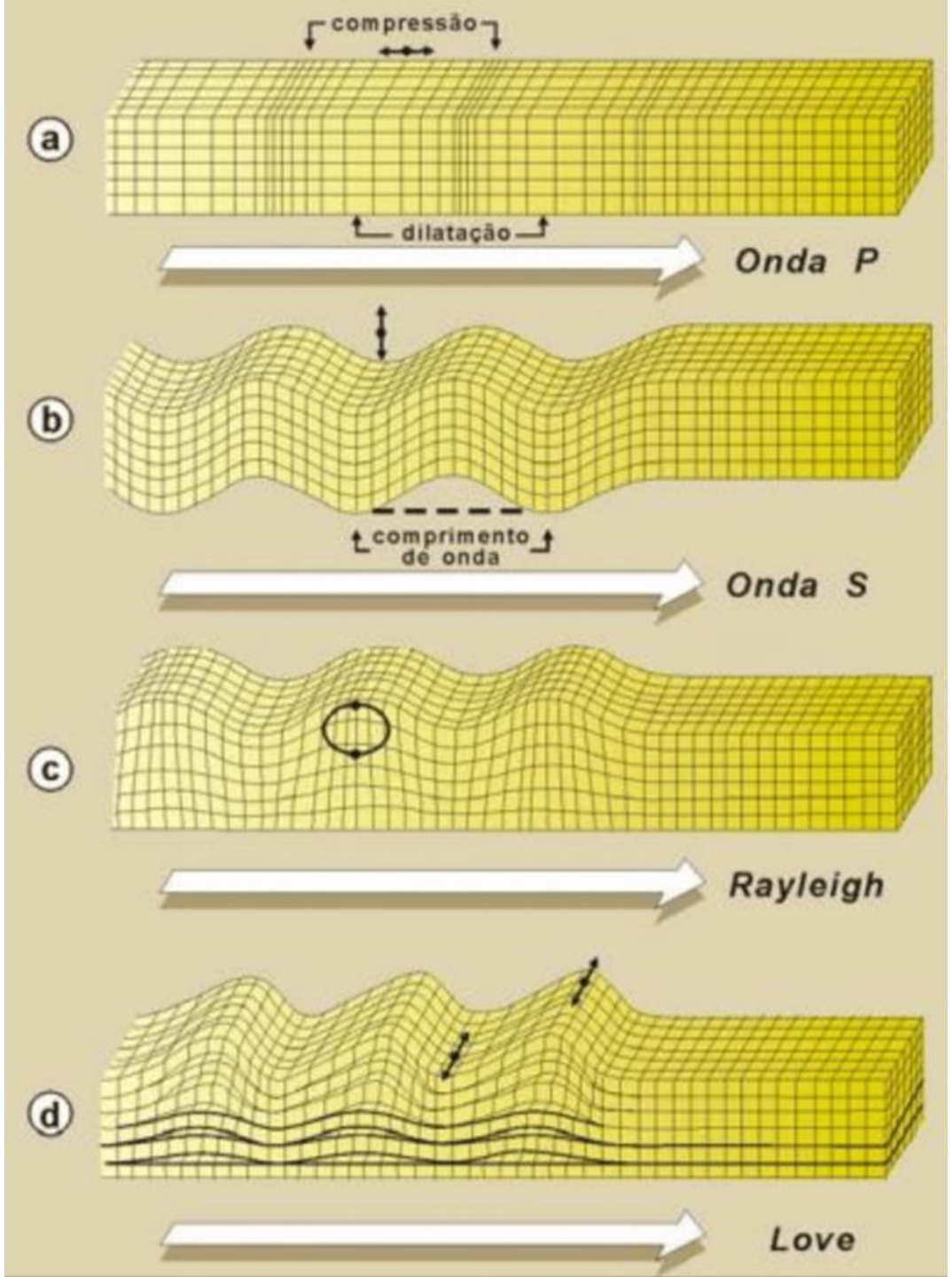
Clasificación de Goldschmidt en la tabla periodica

Grupo → / ↓ Periodo	1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																		2 He
2	3 Li	4 Be												5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg												13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca		21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr		39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	*	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	**	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
			*	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
			**	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No		

Clasificación de Goldschmidt: Litófilos | Siderófilos | Calcófilos | Atmósfilos | Sinteticos

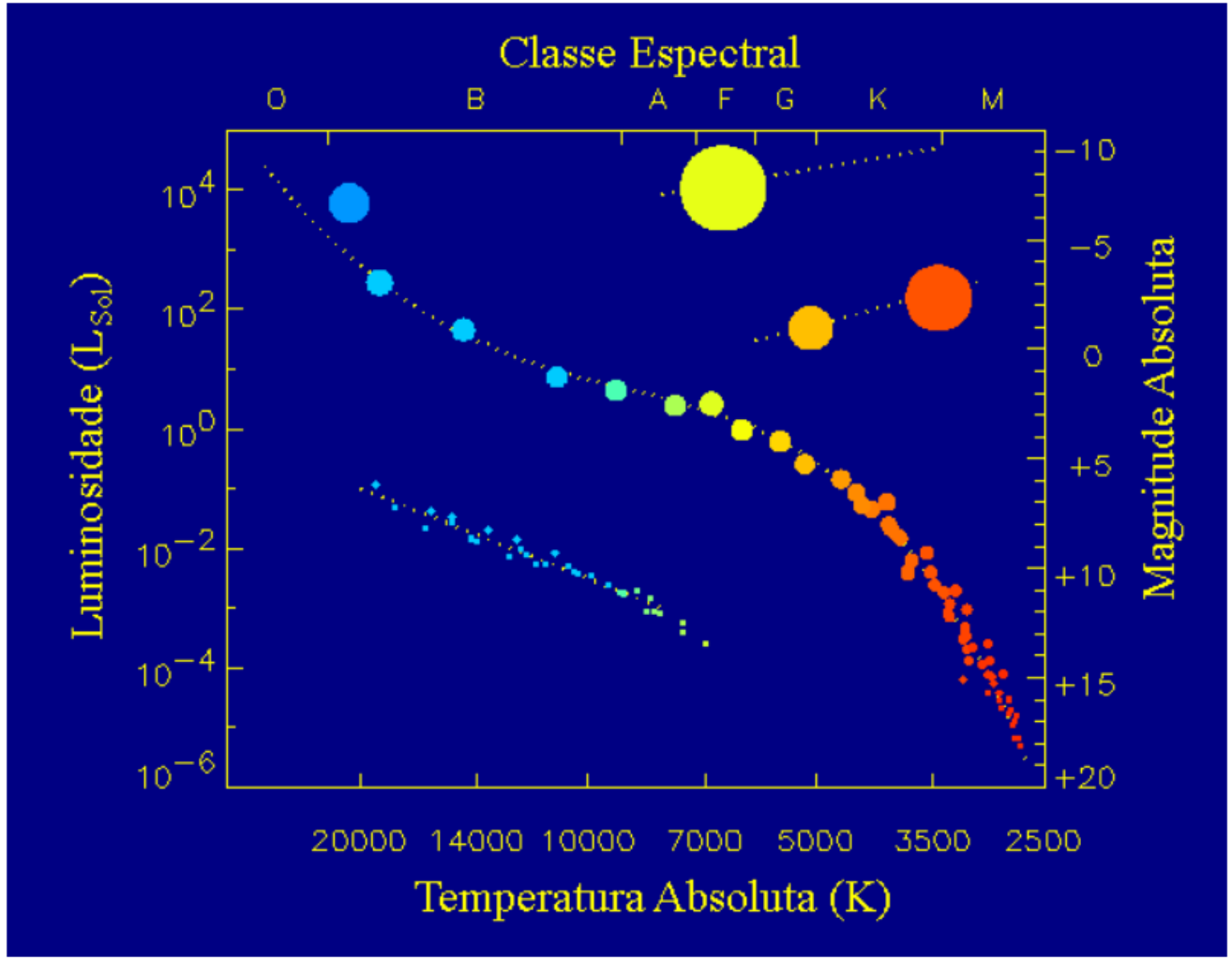
Victor Goldschmidt (1888-1947)

- Propagação das ondas:



diferentes modelos de propagação de ondas:
a) **Ondas-P**;
b) **Ondas-S**;
c) **Ondas Rayleigh**;
e
d) **Ondas Love**.

- É uma relação entre luminosidade e temperatura superficial das estrelas



- Principais regiões:
  - Seqüencia Principal (classe de luminosidade V)
  - Gigantes (classes de luminosidade III)
  - Supergigantes (classes de luminosidade II e I
  - Anãs Brancas

- **Referencias:**

BRAINLY. *Tarefa 42728121*. Brainly. Disponível em: https://brainly.com.br/tarefa/42728121. Acesso em: 09 dez. 2025.
BRITANNICA. *Jupiter*. Encyclopaedia Britannica. Disponível em: https://www.britannica.com/place/Jupiter-planet. Acesso em: 09 dez. 2025.
BRITANNICA. *Saturn*. Encyclopaedia Britannica. Disponível em: https://www.britannica.com/place/Saturn-planet. Acesso em: 09 dez. 2025.
BRITANNICA. *Uranus*. Encyclopaedia Britannica. Disponível em: https://www.britannica.com/place/Uranus-planet. Acesso em: 09 dez. 2025.
BRITANNICA. *Neptune*. Encyclopaedia Britannica. Disponível em: https://www.britannica.com/place/Neptune-planet. Acesso em: 09 dez. 2025.
BRITANNICA. *Victor Moritz Goldschmidt*. Encyclopaedia Britannica. Disponível em: https://www.britannica.com/biography/Victor-Moritz-Goldschmidt. Acesso em: 09 dez. 2025.
GEOCAPTA – UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. *O que é Geologia?* Disponível em: http://www.geocapta.ufc.br/o-que-e-geologia/. Acesso em: 09 dez. 2025.
INFOESCOLA. FARIA, Caroline. *Netuno*. Disponível em: https://www.infoescola.com/sistema-solar/netuno/. Acesso em: 09 dez. 2025.
NASA. *Mercury Overview*. NASA Solar System Exploration. Disponível em: https://solarsystem.nasa.gov/planets/mercury/overview/. Acesso em: 09 dez. 2025.
NASA. *Venus Overview*. NASA Solar System Exploration. Disponível em: https://solarsystem.nasa.gov/planets/venus/overview/. Acesso em: 09 dez. 2025.
NASA. *Jupiter Overview*. NASA Solar System Exploration. Disponível em: https://solarsystem.nasa.gov/planets/jupiter/overview/. Acesso em: 09 dez. 2025.
NASA. *Saturn Overview*. NASA Solar System Exploration. Disponível em: https://solarsystem.nasa.gov/planets/saturn/overview/. Acesso em: 09 dez. 2025.
NASA. *Uranus Overview*. NASA Solar System Exploration. Disponível em: https://solarsystem.nasa.gov/planets/uranus/overview/. Acesso em: 09 dez. 2025.
NASA. *Neptune Overview*. NASA Solar System Exploration. Disponível em: https://solarsystem.nasa.gov/planets/neptune/overview/. Acesso em: 09 dez. 2025.
RESEARCHGATE. *Figura 6 – Diferentes modelos de propagação de ondas: ondas P, S, Rayleigh e Love*. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-diferentes-modelos-de-propagacao-de-ondas-a-Ondas-P-b-Ondas-S-c-Ondas_fig1_334172812. Acesso em: 09 dez. 2025.
SCIENCEFACTS.NET. *Gluon*. Disponível em: https://www.sciencefacts.net/gluon.html. Acesso em: 09 dez. 2025.
SIGNIFICADOS.COM.BR. *Sistema Solar*. Disponível em: https://www.significados.com.br/sistema-solar/. Acesso em: 09 dez. 2025.
WIKIPEDIA (PORTUGUÊS). *Classificação de Goldschmidt*. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classifica%C3%A7%C3%A3o_de_Goldschmidt. Acesso em: 09 dez. 2025.
WIKIPEDIA (PORTUGUÊS). *Exoplaneta*. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Exoplaneta. Acesso em: 09 dez. 2025.
WIKIPEDIA (PORTUGUÊS). *Júpiter (planeta)*. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/J%C3%BApiter_(planeta). Acesso em: 09 dez. 2025.
WIKIPEDIA (PORTUGUÊS). *Marte (planeta)*. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Marte_%28planeta%29. Acesso em: 09 dez. 2025.
WIKIPEDIA (PORTUGUÊS). *Mercúrio (planeta)*. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Merc%C3%BArio_%28planeta%29. Acesso em: 09 dez. 2025.
WIKIPEDIA (PORTUGUÊS). *Saturno (planeta)*. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Saturno_(planeta). Acesso em: 09 dez. 2025.
WIKIPEDIA (PORTUGUÊS). *Terra*. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Terra. Acesso em: 09 dez. 2025.
WIKIPEDIA (PORTUGUÊS). *Urano (planeta)*. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Urano_(planeta). Acesso em: 09 dez. 2025.
WIKIPEDIA (PORTUGUÊS). *Vênus (planeta)*. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9nus_%28planeta%29. Acesso em: 09 dez. 2025.